



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STUDIE PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ

STUDY OF THE FLOOD PROTECTION MEASURES

A. PRŮVODNÍ A TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Fiurášek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Marek Fiurášek
Název	Studie protipovodňových opatření
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Odborná literatura, normy a dokumenty související s problematikou protipovodňové ochrany
- Geodetické zaměření zájmových úseků vodních toků
- Hydrologická data
- Mapové podklady

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je návrh jedné varianty technických protipovodňových opatření ve zvolené lokalitě. Součástí práce je realizace hydraulických výpočtů proudění vody v toku a záplavovém území s použitím 1D, popř. 2D numerického modelu. Výstupy práce budou obsahovat:

- průvodní a technickou zprávu;
- fotodokumentaci;
- výsledky hydraulických výpočtů proudění vody v zájmových úsecích toků a záplavových územích;
- výkresovou část zahrnující situaci širších vztahů, celkovou situaci stavby, katastrální situaci, situaci záplavových území, podélné a příčné profily vodních toků se zakreslením navrhovaných protipovodňových opatření.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá posouzením a vyhodnocením současného stavu protipovodňové ochrany v daném území na vodním toku Kotojedka v km 0,000 – 6,618 a Zacharka v km 0,000 – 3,779. Pro jednotlivé povodňové scénáře, odpovídající kulminačním průtokům Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , se provedly hydraulické výpočty pomocí spřaženého 1D a 2D numerického modelu. Výstupy byly zpracovány v podobě map hloubek, rychlostí a rozlivů. Na základě výsledků byl proveden návrh protipovodňových opatření v kritických oblastech.

KLÍČOVÁ SLOVA

spřažený 1D a 2D numerický model, Kotojedka, Zacharka, povodeň, protipovodňové opatření

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the assessment and evaluation of the current state of flood protection in the area of the Kotojedka watercourse in km 0,000 – 6,618 and Zacharka at km 0,000 – 3,779. For individual flood scenarios corresponding to culmination flows Q_5 , Q_{20} and Q_{100} , hydraulic calculations were performed using a coupled 1D and 2D numerical model. The outputs were processed in the form of maps of depths, speed and spills. Based on outputs, a proposal for flood protection measures in critical areas was made.

KEYWORDS

Coupled 1D and 2D numerical model, Kotojedka, Zacharka, flood, flood protection measures

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Marek Fiurášek *Studie protipovodňových opatření*. Brno, 2021. 63 s., 17 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Studie protipovodňových opatření* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2021

Marek Fiurášek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Studie protipovodňových opatření* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28. 5. 2021

Marek Fiurášek
autor práce

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Aleši Drábovi, Ph.D. za velkou trpělivost, ochotu a odborné vedení při zpracovávání této bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
2	CÍLE PRÁCE	12
3	PODKLADY	13
3.1	Seznam podkladů.....	13
3.2	Související předpisy	15
3.3	Zhodnocení podkladů	15
4	POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	17
4.1	Vymezení a charakteristika zájmového území.....	17
4.1.1	Kotojedka.....	17
4.1.2	Zacharka	17
4.2	Popis zájmové oblasti.....	18
4.2.1	Obecný popis vodních toků	19
4.2.2	Geomorfologie oblasti	20
4.2.3	Klimatické poměry	21
4.3	Hydrologické údaje.....	21
4.3.1	Kotojedka.....	21
4.3.2	Zacharka	23
4.4	Objekty na vodních tocích.....	23
4.4.1	Kotojedka.....	23
5	NÁVRH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ.....	25
5.1	Stavebně technické řešení PPO.....	25
5.1.1	Stavební objekty SO 1 a SO 2 – ochranná hráz	25
5.1.2	Stavební objekt SO 3 – sdružený mostní objekt	26
5.1.3	Stavební objekt SO 4 – most Beneš	27
5.1.4	Stavební objekt SO 5 – most.....	29
5.1.5	Stavební objekty SO 6, SO 07	30
5.1.6	Stavební objekt SO 8 – propustek v tělese komunikace	32

6	HYDRAULICKÉ VÝPOČTY	33
6.1	Koncepční model.....	33
6.1.1	Zájmová oblast.....	33
6.1.2	Volba modelu.....	34
6.1.3	Použitý software	36
6.2	Matematický model	36
6.2.1	1D model	36
6.2.2	2D model	38
6.3	Numerický model.....	39
6.3.1	Podklady	39
6.3.2	Okrajové podmínky	40
6.3.3	Morfologie dané oblasti	42
6.3.4	Drsnosti vodního toku a záplavových oblastí	42
6.3.5	Výpočtová síť	43
6.3.6	Nejistoty vstupních dat	44
7	ZPRACOVÁNÍ MODELU V PROGRAMU HEC-RAS	45
7.1	Postup řešení	45
7.1.1	1D model	46
7.1.2	2D model	49
7.1.3	Spřažení 1D a 2D modelu.....	51
7.1.4	Zobrazení výstupů	53
8	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ VÝPOČTŮ	54
8.1	Stávající stav.....	54
8.1.1	Průtok Q5.....	54
8.1.2	Průtok Q20.....	54
8.1.3	Průtok Q100.....	55
8.2	Návrhový stav.....	56
8.2.1	1. varianta	56
8.2.2	2. varianta	57
8.2.3	Shrnutí	59
9	ZÁVĚR.....	60
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

11	SEZNAM TABULEK	62
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	63

1 ÚVOD

V intravilánu města Kroměříž a jeho bezprostředním okolí se nachází několik vodních toků. Především se jedná o největší moravský tok, řeku Moravu. Nachází se zde ale také další menší vodní toky. Sice méně známé, ale stejně důležité pro danou oblast. Jedná se např. o vodní toky Kotojedka a Zacharka (někdy taky nazýván jako Važanský potok) které jsou pravobřežními přítoky řeky Moravy a protékají jižně až jiho-západně od města Kroměříž. Tyto vodní toky představují pro území města Kroměříž a přilehlé území zdroj povodňového nebezpečí. Předpokládat lze především výskyt letních přívalových srážkami, při nichž může dojít k materiálním škodám i ohrožení lidských životů. Proto je nutné zajistit ochranu obyvatel a majetku patřičným vyhodnocením stávajícího stavu protipovodňové ochrany obou toků a případným návrhem protipovodňových opatření.

Předmětem této bakalářské práce je zájmová lokalita, která se nachází v Kroměříži a přilehlém okolí. Konkrétně se jedná o úsek na vodním toku Kotojedka v km 0,000 – 6,618 a na vodním toku Zacharka v km 0,000 – 3,779.

Zájmová oblast je, co se týče možné protipovodňové ochrany, velmi rozsáhlá se spoustou dílčích problémů, které je potřeba vyřešit. Tato práce se zabývá primárně vyhodnocením stávajícího stavu protipovodňové ochrany v zájmové lokalitě a také dílčím návrhem varianty nového protipovodňového opatření, s důrazem ochránit především území na pravém břehu Kotojedky v km 2,105 až 3,611. Hydraulické posouzení bude provedeno pomocí spřaženého 1D a 2D numerického modelu.

2 CÍLE PRÁCE

Jak už bylo zmíněno, cílem této práce je hydraulické posouzení stávajícího stavu protipovodňové ochrany na vodních tocích Kotojedka v km 0,000 – 6,618 a Zacharka v km 0,000 – 3,779 v zájmové lokalitě Kroměříže a jeho blízkého okolí. Součástí je i návrh varianty protipovodňových opatření (PPO) s cílem ochránit především rizikové záplavové oblasti na pravém břehu vodního toku Kotojedka cca v km 2,105 až 3,611.

Předmětem této práce je v první části hydraulický výpočet a vyhodnocení současného stavu protipovodňové ochrany pro možné povodňové scénáře, které odpovídají kulminačním průtokům Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Výsledkem těchto výpočtů jsou mapy rozlivů, hloubek a rychlostí. Následně je na základě těchto hydraulických výpočtů proveden návrh vhodných PPO, které by zlepšily protipovodňovou ochranu v dané oblasti, a to především pravého břehu Kotojedky cca v km 2,105 až 2,836. Návrh PPO je ověřen hydraulickým výpočtem pro návrhový kulminační průtok Q_{20} .

Pro hydraulický výpočet proudění vody v toku, záplavovém území a modelování povodňových scénářů byl využit spřažený 1D a 2D numerický model. V rámci této bakalářské práce bylo vybráno volně dostupné programové vybavení HEC-RAS 5.0.7.

Součástí práce jsou výkresové resp. mapové přílohy, které zahrnují:

- situaci širších vztahů (viz příloha C.1),
- celkovou situaci stavby (viz příloha C.2),
- katastrální situaci stavby (viz příloha C.3),
- podélné profily stávajícího a návrhového stavu (viz příloha C.4.1 a C.4.2) a příčné řezy s protipovodňovým opatřením (viz příloha C.5).

Výstupy z hydraulických výpočtů byly zpracovány do podoby map hloubek (viz příloha D.1), map rychlostí (viz příloha D.2) a map rozlivů (viz příloha D.3).

3 PODKLADY

3.1 Seznam podkladů

- [1] Záplavové území toku Kotojedka km 0,000 – 22,383. Situace příčných profilů. Povodí Moravy s.p. Brno, 2012.
- [2] Záplavové území toku Kotojedka km 0,000 – 22,383. Podélný profil km 0,000 – 10,674. Povodí Moravy s.p. Brno, 2012.
- [3] Záplavové území toku Kotojedka Km 0,000 – 22,383. Příčné profily PF 1 – 72. Povodí Moravy s.p. Brno, 2012.
- [4] Prohlížeč služba WMS: Základní mapa ZM 10. Český úřad zeměměřický a katastrální: Geoportál - prohlížeč služba [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>.
- [5] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka: Struktura DIBAVOD [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.dibavod.cz/27/struktura-dibavod.html>
- [6] Ministerstvo životního prostředí: Mapy povodňového nebezpečí a povodňových rizik [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20191223-mapy-povodnovych-rizik-a-nebezpeci
- [7] Záplavové území toku Zacharka Km 0,000 – 3,779. Podélný profil km 0,000 – 3,779. Povodí Moravy s.p. Brno, 2012.
- [8] Záplavové území toku Zacharka km 0,000 – 3,779. Příčné profily PF 1 – 56. Povodí Moravy s.p. Brno, 2012.
- [9] Povodňový plán SO ORP Kroměříž: Hydrologické údaje [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/krm_hydrologicke-udaje/
- [10] Povodí Moravy: Plán oblasti povodí Moravy [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/a-popis/a-popis.html>
- [11] Analýza oblastí s významným povodňovým rizikem v území působnosti státního podniku Povodí Moravy včetně možných protipovodňových opatření: Technická zpráva – Hydrodynamické modely a mapy povodňového nebezpečí; Kotojedka – 10202906_1 (MOV_10-01) – ř. km 11,206 – 12,791 Brno: Povodí Moravy, s.p., 2019.
- [12] Povodňový plán SO ORP Kroměříž: Odtokové poměry [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/orpkrm_odtokove-pomery/

- [13] Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky: Galerie: Přírodní poměry [online]. [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://aopkcr.maps.arcgis.com/home/gallery.html>
- [14] QUITT, E. Charakteristiky klimatických oblastí ČR. 1971.
- [15] Povodňový plán SO ORP Kroměříž: Charakteristika zájmového území [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/krm_charakteristika-zajmoveho-uzemi/
- [16] Povodňový plán SO ORP Kroměříž: Hladinoměry [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://www.edpp.cz/hladinomery/kromeriz/>
- [17] Povodí Moravy: Plán oblasti povodí Moravy [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/a-popis/a-popis.html>
- [18] Místní šetření v zájmovém území provedené autorkou práce dne 27.5.2021
- [19] RAPANTOVÁ, N. Matematické modelování proudění podzemních vod a jeho využití ve vodárenské praxi. VŠB-Technická univerzita Ostrava. [online]. [cit. 2021-5-12].
- [20] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka: Struktura DIBAVOD [online]. Záplavové území [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.dibavod.cz/27/struktura-dibavod.html>
- [21] Prohlížečí služba WMS: Ortofoto. Český úřad zeměměřický a katastrální: Geoportál – prohlížečí služba [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [22] Šťastová, B. Studie protipovodňových opatření v lokalitách Komín a Kníničky na Svatce. Brno, 2016. 48 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb.
- [23] Hec.usace.army.mil: HEC-RAS [online]. USA [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://hec.usace.army.mil>
- [24] Autodesk: CIVIL 3D [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://autodesk.cz>
- [25] Esri: ArcGIS [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://esri.com>
- [26] Microsoft: Microsoft Excel [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://microsoft.com>
- [27] JANDORA, J., UHMANOVÁ, H. Proudění v systémech říčních koryt. Modul 01. 2006. Studijní opora. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodních staveb.
- [28] JANDORA, J. Proudění v systémech říčních koryt: Přednáška BR052 - Matematické modely proudění vody v tocích a inundačních územích. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodních staveb.

- [29] Polygony druhů pozemků a budov. Open street maps. [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z <https://www.openstreetmap.org>
- [30] Prohlížečí služba Esri ArcGIS Server: Digitální model reliéfu České republiky 5. generace. Český úřad zeměměřický a katastrální: mapová služba Esri ArcGIS Server [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [31] Prohlížečí služba Esri ArcGIS Server: Katastrální mapy. Český úřad zeměměřický a katastrální: mapová služba Esri ArcGIS Server [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [32] Situační výkres Protipovodňové opatření Kroměříž. Město Kroměříž.
- [33] Plán hlavních povodí České republiky. Ministerstvo zemědělství, Praha, 05/2007. ISBN: 978-80-7084-632-2.

3.2 Související předpisy

Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Zákon 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny.

ČSN 73 6530 Názvosloví hydrologie.

ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod.

ČSN 75 2310 Sypané hráze.

TNV 75 2931 Povodňové plány.

TNV 75 2932 Navrhování záplavových území.

Vyhláška 236/2002 Sb. o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území.

Vyhláška č. 590/2002 Sb., Vyhláška o technických požadavcích pro vodní díla

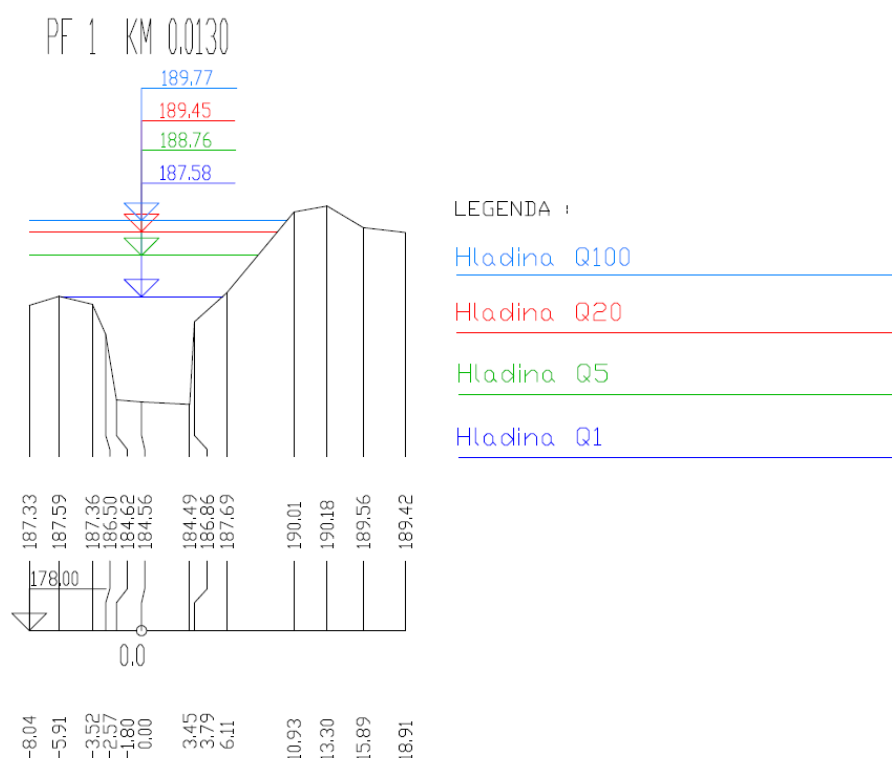
TNV 75 2103, Úpravy řek

TNV 75 2102, Úpravy potoků

3.3 Zhodnocení podkladů

Pro zpracování práce bylo zapotřebí shromáždit různé druhy podkladů. Jednalo se především o podklady pro hydraulický výpočet spřaženého 1D a 2D numerického modelu.

V rámci 1D modelu byly hlavní podklad geodetické zaměření příčných a podélných profilů ve formátu *.dxf.. Konkrétně se jednalo o tok Kotojedka v km 0,000 – 22,383 a tok Zacharka v km 0,000 – 3,779, zpracované Povodím Moravy s.p. [2] [3] [7] [8].



Obr. 1 Příklad příčného profilu z geodetického zaměření

Pro zpracování 2D modelu byl stěžejní podklad digitálního modelu reliéfu 5. generace [30].

Další důležité podklady byly situace rozlivů pro kulminační průtoky Q_1 , Q_{20} a Q_{100} , mapové podklady, zahrnující Základní mapu ČR v měřítku 1:10 000 [4], ortofoto [21] a katastrální mapy [31]. Mezi podklady patřilo i vlastní místní šetření [18] realizované autorem práce, v rámci, kterého byly pořízeny fotodokumentace.

4 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

4.1 Vymezení a charakteristika zájmového území

Zájmová lokalita se nachází ve Zlínském kraji, na území města Kroměříž, v městských částech Trávník, Těšnovice, Kotojedy, Drahlav, Vážany u Kroměříže a samostatných obcích Jarohněvice a Šelešovice. Na tomto území se nachází několik vodních toků. Tato studie se podrobně zabývá povodňovou situací na tocích Kotojedka a Zacharka.

4.1.1 Kotojedka

Řešený úsek na toku Kotojedka začíná v ústí toku do Moravy v km 0,000 a končí nad silničním mostem v Šelešovicích v km 6,600. Celková délka úseku je cca 6,60 km. Vodní tok Kotojedka v tomto úseku protéká střídavě zemědělskou a zastavěnou oblastí. Kotojedka má v tomto úseku 4 přítoky. Konkrétně jde o pravobřežní přítok Trňák, levobřežní přítok Ratajský potok a 2 bezejmenné přítoky. Na úseku se nachází celkem 11 objektů, konkrétně 2 lávky pro pěší, 1 železniční most, 3 hospodářské mosty a 5 silničních mostů [1] [2] [3] [4].

Tab. 1 Základní informace o řešeném úseku toku Kotojedka [5] [6]

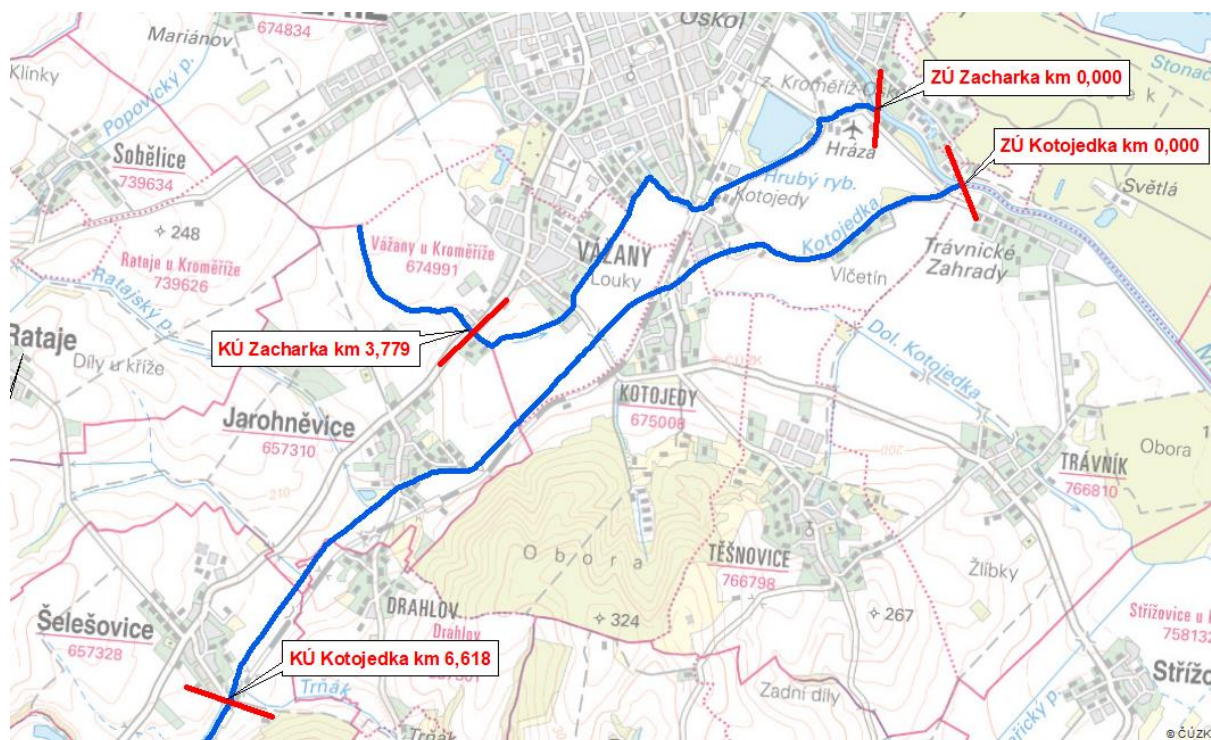
Tok	IDVT	Říční km, začátek - konec	ČHP
Kotojedka	10202906	0.000 - 6.600	4-12-02-120

4.1.2 Zacharka

Úsek toku Zacharky začíná v ústí toku do Moravy v Km 0,000 a končí pod křížením se silnicí II/432 v km 3,779. Celková délka úseku je 3,78 Km. Jedná se o tok, protékající střídavě zastavěným a zemědělsky využívaným územím na okraji města Kroměříž. Na úseku se nachází celkem 18 objektů, z toho 5 lávek pro pěší, 5 propustků, 2 hospodářské mosty, 5 silničních mostů a shybka [1] [4] [7] [8].

Tab. 2 Základní informace o řešeném úseku toku Zacharka [5] [6]

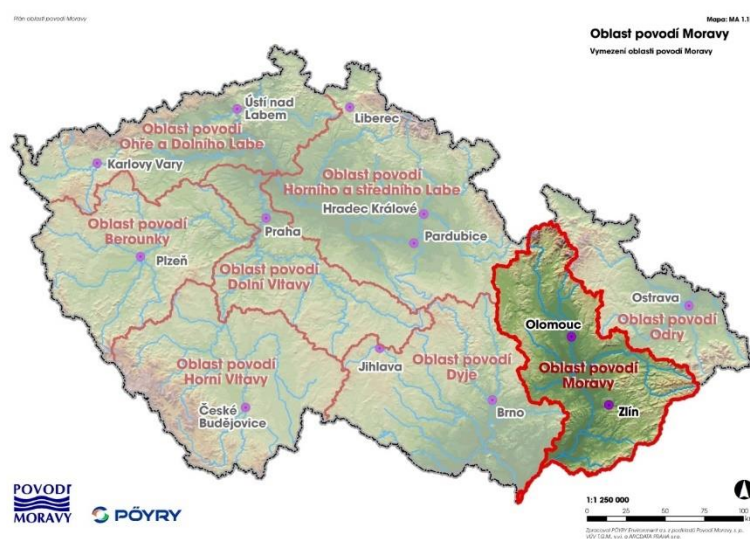
Tok	IDVT	Říční km, začátek - konec	ČHP
Zacharka	10189772	0.000 - 3.779	4-12-02-104



Obr. 2 Situace zájmové oblasti [4]

4.2 Popis zájmové oblasti

Řešené vodní toky svým hydrologickým povodím spadají do oblasti povodí Moravy, která je svou velikostí čtvrtá největší z osmi oblastí povodí na území České republiky. Správcem vodních toků je statní podnik Povodí Moravy, s.p. [9].



Obr. 3 Vymezení oblasti povodí Moravy [10]



Obr. 4 Přehledná mapa povodí Moravy [10]

4.2.1 Obecný popis vodních toků

Kotojedka

Kotojedka pramení v pohoří Chřib pod vrcholem Vlčáku (569 m n.m.), konkrétně na severním svahu v nadmořské výšce 460 m n. m. Je hlavním vodním tokem, který odvádí vodu z východní Litenčické pahorkatiny a severozápadních svahů Chřibů.

Po pár kilometrech Kotojedka vtéká do Zdounecké brázdy, a severo-východním směrem protéká k městu Kroměžiž. V horní části toku po obec Zdounky jsou z velké části pouze pravostranné přítoky, které pramení na západních svazích Chřibů. Jde např. o Cetechovský potok, Roštínský potok a Divocký potok. K dalším přítokům patří pravostranný přítok Olšinka, přitékající z oblasti Orlické vrchoviny.

Následně pod obcí Zdounky Kotojedka vtéká do Jarohněvické brázdy s pravostrannými přítoky Cvrčovický potok a Trňák, přitékající ze severního úbočí Vražce a levostranným přítokem Netčickým potokem. Kotojedka následně protéká obcí Jarohněvicemi, kde se zleva vlévá Ratajský potok.

V městské části Kotojedy byl vybudován umělý náhon Dolní Kotojedka. Samotná Kotojedka poté protéká širokou rovinou Hornomoravského úvalu až do Travnických zahrad u Kroměříže, kde v nadmořské výšce 185 m n.m. ústí jako pravostranný přítok do Moravy.

Celková délka toku od pramene až po ústí do Moravy je 23,4 km a plocha povodí je 131,9 km². Průměrný průtok u ústí do Moravy činí 0,5 m³/s. Na samotném vodním toku se nenachází žádný významný vodohospodářský objekt [9] [11].

Městský úřad Kroměříž, v důsledku neustálých povodňových problémů, stanovil oficiální záplavové území s účinností od roku 2013. Jde o úsek v ř. km 0,000 – 22,583 a platí pro průtoky Q₅, Q₂₀ a Q₁₀₀ [12].

Zacharka

Vodní tok Zacharka začíná na zemědělských pozemcích na hranici území městské části Vážany a obcí Jarohněvicemi. Jde o malý vodní tok, odvádějící převážně vody ze zemědělských pozemků v období dešťových srážek a krátce po nich.

Na vodním toku je mnoho objektů, zužující průtočný profil. Nejdelší propustek je na území městské části Vážany, kde podchází zastavené území. Následně protéká kolem obytné oblasti a krátce vtéká do intravilánu Kroměříže, kde do Zacharky zleva ústí jediný známý přítok. Následně podtéká silniční i železniční most. Za intravilánem města těsně míjí Hrubý rybník a v oblasti Hráza ústí do Moravy. Celková délka toku je cca 5,1 km.

Podél vodního toku je v posledních letech vcelku intenzivní výstavba nových objektů. Jde převážně o oblast ve Vážanech. Vznikají tak nové objekty např. lávky a propustky, které mohou být v době přívalových dešťů problematickým místem, zužující průtočný profil [4] [21].

I proto má Zacharka od roku 2013 na území Kroměříže a přilehlých obcí oficiálně stanovené záplavové území. Bylo vyhlášeno Městským úřadem Kroměříže a platí pro průtoky Q₅, Q₂₀ a Q₁₀₀ v ř. km 0,000 – 3,779 [12].

4.2.2 Geomorfologie oblasti

Vodní toky Kotojedka i Zacharka protékají dvěma soustavami, konkrétně jde o Vnější Západní Karpaty a Vněkarpatskou sníženinu [13].

Oblast vodního toku Kotojedka

Kotojedka, jak už bylo zmíněno, pramení v pohoří Chřib, ve Stupavské vrchovině. Po většinu své trasy protéká Zdouneckou brázdou v Litenčické pahorkatině až po Středomorovskou nivu v Hornomoravském úvalu, kde ústí do Moravy [13].

Oblast vodního toku Zacharka

Trasa vodního toku Zacharka začíná ve Zdounecké brázdě v Litenčické pahorkatině, a ve Středomoravské nivě v Hornomoravském úvalu ústí do Moravy [13].

Tab. 3 Geomorfologie řešené oblasti [13]

Soustava	Podsoustava	Celek	Podcelek	Okresek
Vnější Západní Karpaty	Středomoravské Karpaty	Chřiby	Stoupavská vrchovina	Chřibské hřbety
		Litenčická pahorkatina	Zdounecká vrchovina	Roštinská brázda Jarohněvická brázda
Vněkarpatská sníženina	Západní Vněkarpatské sníženiny	Hornomoravský úval	Středomoravská niva	Středomoravská niva

4.2.3 Klimatické poměry

Řešené území dle Quittovy klimatické klasifikace spadá do teplé oblasti T2. Tato oblast se vyznačuje převážně dlouhým, teplým a suchým létem. Ostatní roční období jsou převážně krátká, teplá a suchá. Charakteristické pro tuhle oblast jsou minimální úhrny srážek po celý rok [13] [14].

Tab. 4 Vybrané klimatické údaje řešené oblasti [15]

Charakteristika	T2
Počet letních dnů	50 - 60
Počet mrazových dnů	100 - 110
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	90 - 100
Srážkový úhrn ve vegetačním období	350 - 400
Srážkový úhrn v zimním období	200 - 300

Z uvedených údajů vyplývá, že nebezpečí povodní u řešených vodních toků nevzniká při dlouhodobých deštích, ale problém jsou především krátké, přivalové deště, které zasáhnou intenzivně malou oblast.

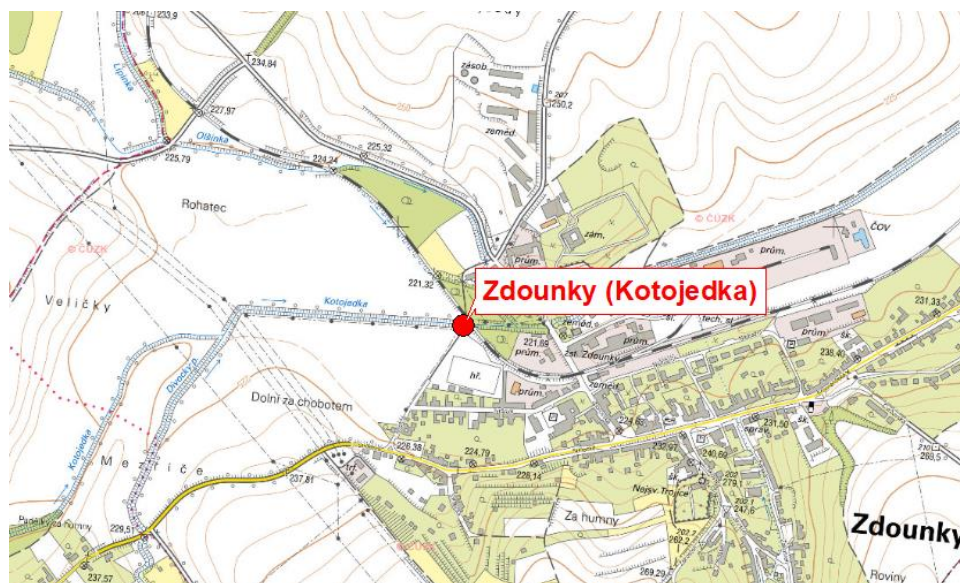
4.3 Hydrologické údaje

4.3.1 Kotojedka

V zájmovém území se nenachází žádná měrná stanice. Nejbližší stanice, hlásící stav hladiny je nad zájmovým územím v obci Zdounky. Hlásný profil je umístěn na mostě u fotbalového hřiště [16].

Měrná stanice Zdounky

Tok: Kotojedka
Název stanice: Zdounky
Kategorie: C
Hydrologické povodí: 4-12-02-120
Provozovatel: Obec Zdounky [16]



Obr. 5 Hlásný profil Zdounky (Kotojedka) [4] [16]

Tab. 5 Limity pro stupně povodňové aktivity Zdounky (Kotojedka) [16]

Stupeň povodňové aktivity	Vodní stav [cm]
I.SPA - bdělost	180
II.SPA - pohotovost	200
III.SPA - ohrožení	220

Povodí Moravy udává hodnoty N-letých průtoků na vodním toku Kotojedka v profilu Kotojedy [17].

Tab. 6 Hodnoty N-letých průtoků [17]

N - leté průtoky [m ³ /s]						
1	2	5	10	20	50	100
8,60	13,70	23,00	31,00	41,00	54,50	68,00

V rámci geodetického zaměření pro Povodí Moravy, s.p. jsou také udávány hodnoty N-letých průtoků [2] .

Tab. 7 Hodnoty N-letých průtoků [2]

N - leté průtoky [m ³ /s]								
1	2	5	10	20	50	100	GW100	500
8,60	13,70	22,60	30,90	40,40	55,10	68,00	79,50	105,00

Z důvodu, že se přímo v zájmovém území nenachází žádná měrná stanice, udávající hodnoty N-letých průtoků, byly pro potřeby výpočtů použity hodnoty dle [2] (viz. tab. 7). Hodnoty průtoků se blíží k hodnotám, které Povodí Moravy udává na tomto toku v profilu Kotojedy (viz tab. 6).

4.3.2 Zacharka

Podobně jako u vodního toku Kotojedka se ani v tomto zájmovém území nenachází žádná měrná stanice.

Pro účely výpočtu byly použity hodnoty N-letých průtoků dle [7] (viz tab. 8).

Tab. 8 Hodnoty N-letých průtoků (Zacharka) [7]

N - leté průtoky [m ³ /s]								
1	2	5	10	20	50	100	GW100	500
0,80	0,91	1,30	1,90	3,00	5,70	9,00	10,50	17,00

4.4 Objekty na vodních tocích

4.4.1 Kotojedka

Tab. 9 Objekty na vodním toku Kotojedka [1]

Číslo	Staničení	Objekt
1	0.091	Silniční most
2	0.505	Ocelová lávka
3	0.999	Ocelová lávka
4	1.751	Hospodářský most
5	2.226	Silniční most
6	2.311	Železniční most
7	2.863	Silniční most
8	4.32	Hospodářský most
9	4.681	Silniční most
10	5.274	Hospodářský most
11	6.596	Silniční most

Tab. 10 Objekty na vodním toku Zacharka

Číslo	Staničení	Objekt
1	0.065	Most
2	0.417	Silniční most
3	0.519	Lávka
4	1.105	Shybka
5	1.183	Lávka
6	1.309	Propustek 2xDN 1000
7	1.387	Mostek
8	1.421	Most (Beneš)
9	1.527	Železniční propustek 2xDN 1200
10	1.646	Ocelová lávka
11	2.708	Cestní propustek
12	2.744	Cestní propustek
13	2.759	Lávka
14	2.775	Lávka
15	2.848	Most
16	2.904	Mostek
17	3.079	Zatrubnění
18	3.4	Hospodářský most

5 NÁVRH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ

Návrh protipovodňových opatření (dále jen PPO) částečně vychází z rámcové koncepce PPO města Kroměříž [32]. Tato práce se zabývala vhodným návrhem různých druhů PPO, která zabrání nežádoucím rozlivům, ohrožující zdraví i škody na majetku. Jednalo se především o vhodný návrh PPO s cílem ochránit primárně záplavované oblasti na pravém břehu Kotojedky cca v km 2,105 až 3,611. V důsledku návrhu PPO došlo však ke zlepšení protipovodňové ochrany i v jiných částech území včetně vodního toku Zacharka.

Návrh zahrnuje následující druhy PPO:

- Ochranná zemní hráz,
- Zkapacitnění objektů na tocích
- Zrušení objektů na tocích

5.1 Stavebně technické řešení PPO

Navržená protipovodňová ochrana se skládá ze zemní hráze, tří zkapacitněných objektů a také dvou zrušených objektů. Všechny typy PPO vycházejí z hydraulických výpočtů a jsou navrženy na kulminační průtok Q_{20} . Navržená míra ochrany území je v souladu s dokumentem [33] pro rozptýlenou až souvislou zástavbu.

Navržená PPO zahrnují následující stavební objekty (SO):

- SO 1 – ochranná hráz o délce 596,0 m
- SO 2 – ochranná hráz o délce 568,0 m
- SO 3 – zkapacitnění mostního objektu na vodním toku Zacharka v km 1,527
- SO 4 – zkapacitnění objektu na vodním toku Zacharka v km 1,421
- SO 5 – zkapacitnění objektu na vodním toku Zacharka v km 1,309
- SO 6 – zrušení lávky v km 1,183
- SO 7 – zrušení mostku v km 1,387

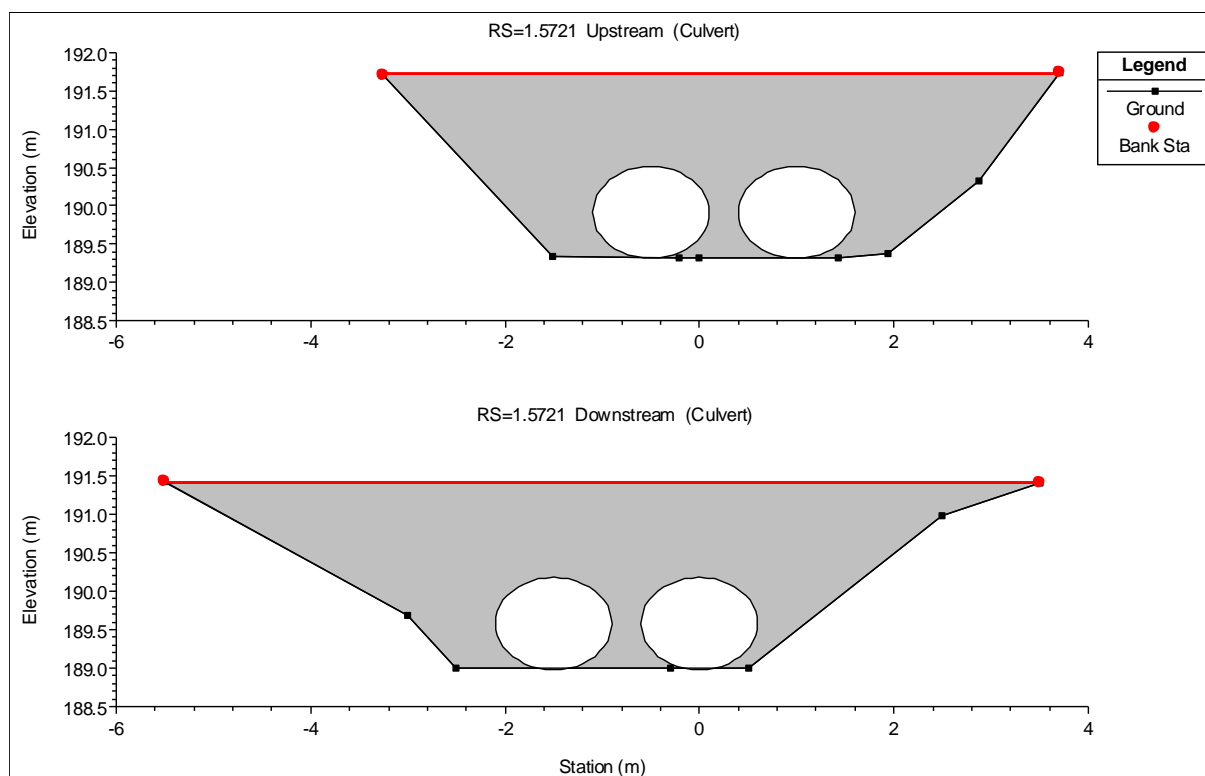
5.1.1 Stavební objekty SO 1 a SO 2 – ochranná hráz

Ochranné hráze se nachází v inundačním prostoru na pravém břehu Kotojedky. Začátek hráze je nad železničním mostem přibližně v km 2,321. a konec v km 3,350. Hráz je odsazená od toku v rozsahu až 245 m. Trasa je navržena na zemědělských pozemcích těsně podél železnice. Přibližně po 650 m trasa hráze křížuje silnici. Sypaná hráz je navrhována jako zemní, homogenní.

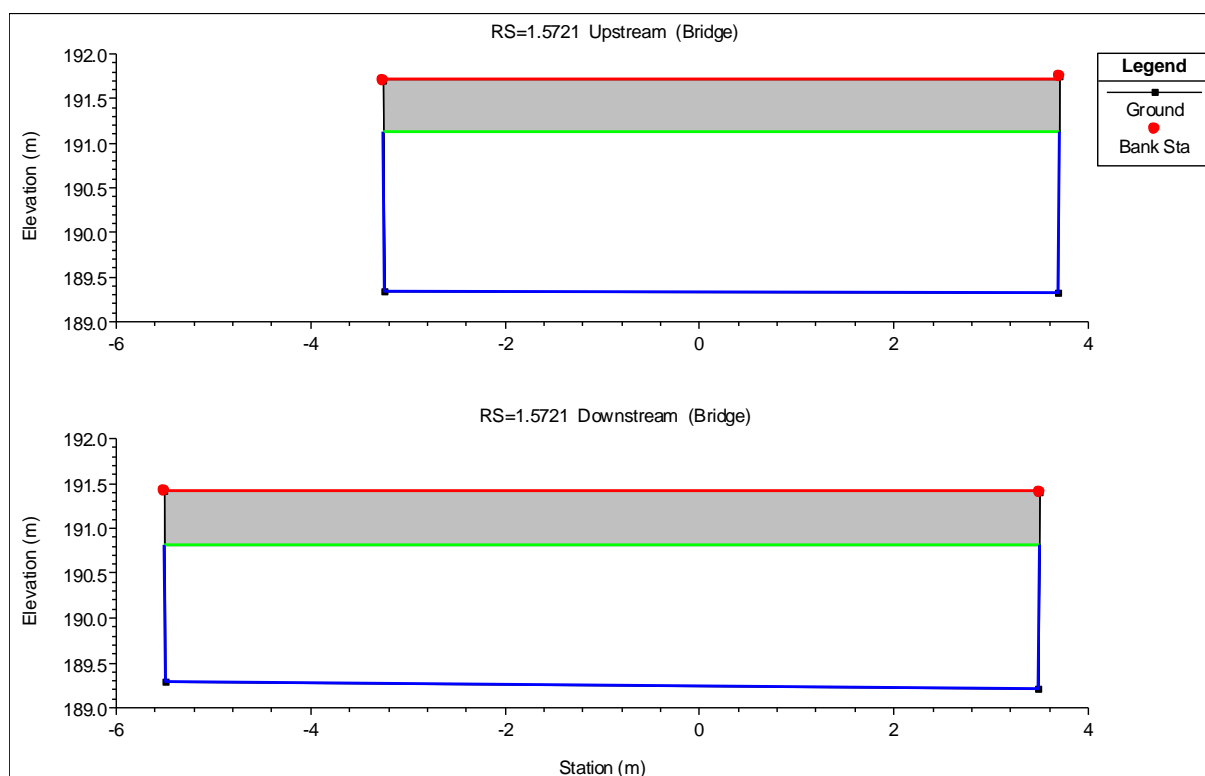
Niveleta hráze je navrhnutá na kulminační průtok Q_{20} s bezpečnostním převýšením 0,3 m. Šířka koruny hráze je 3,0 m. Celková délka je 1164,0 m. Svahy hráze jsou navrženy ve sklonu 1:2 u vzdušného líce a 1:2,5 u návodního líce a opevněny pomocí travního porostu. Součástí hráze je i těsnící jílocementová stěna a odvodňovací příkop mezi zemním tělesem hráze a železnice. Na koruně hráze bude vybudována zpevněná komunikace, která bude podle [32] v budoucnu sloužit jako cyklostezka.

5.1.2 Stavební objekt SO 3 – sdružený mostní objekt

Tento stavební objekt se nachází na vodním toku Zacharka v km 1,527. V rámci protipovodňové ochrany dojde ke odstranění stávajícího betonového propustku o dvou potrubí DN 1200. Propustek bude nahrazen sdruženým mostním objektem, sloužící silniční i železniční dopravě. Tloušťka mostovky je navržena 0,6 m. Šířka mostního objektu je 35,3 m. Součástí této stavby je i zvětšení a změna tvaru průtočného profilu na obdélníkový. Světlá vzdálenost ode dna ke spodní hraně mostovky je cca 1,8 m. Díky tomu dojde ke zvětšení průtočného profilu a zkapacitnění objektu.



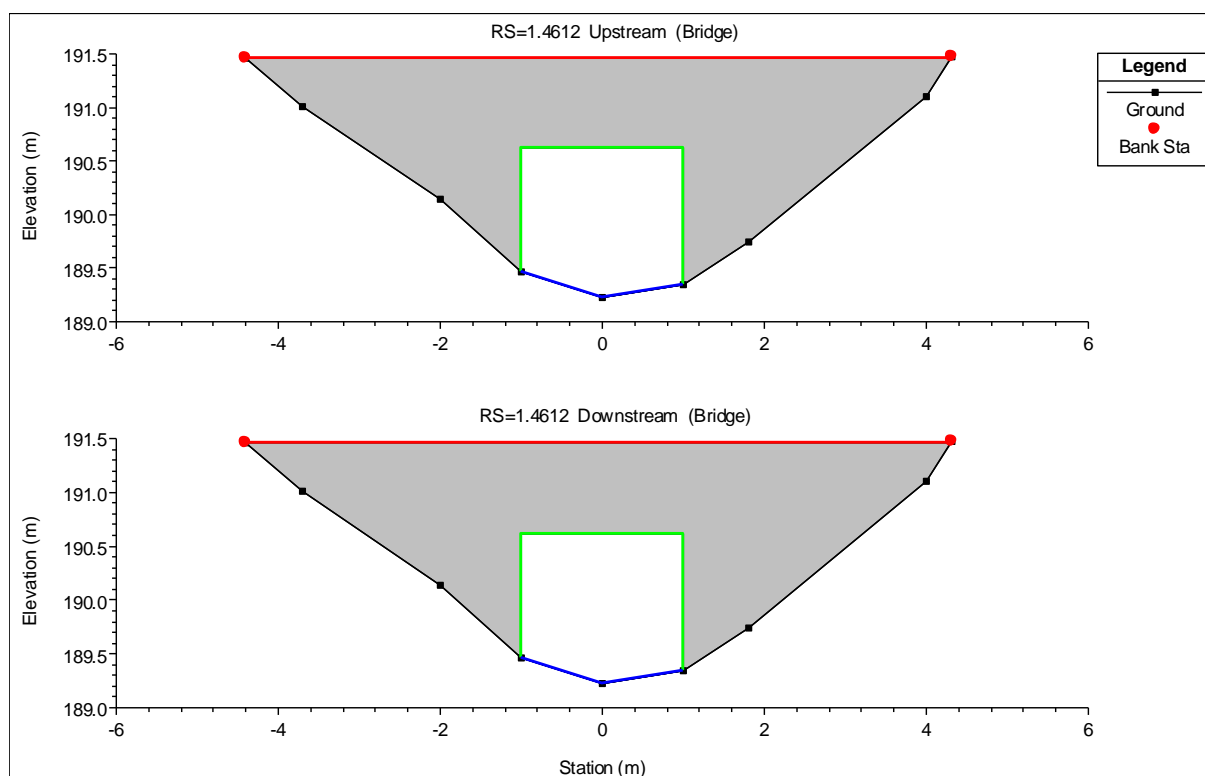
Obr. 6 SO 3 Propustek – stávající stav



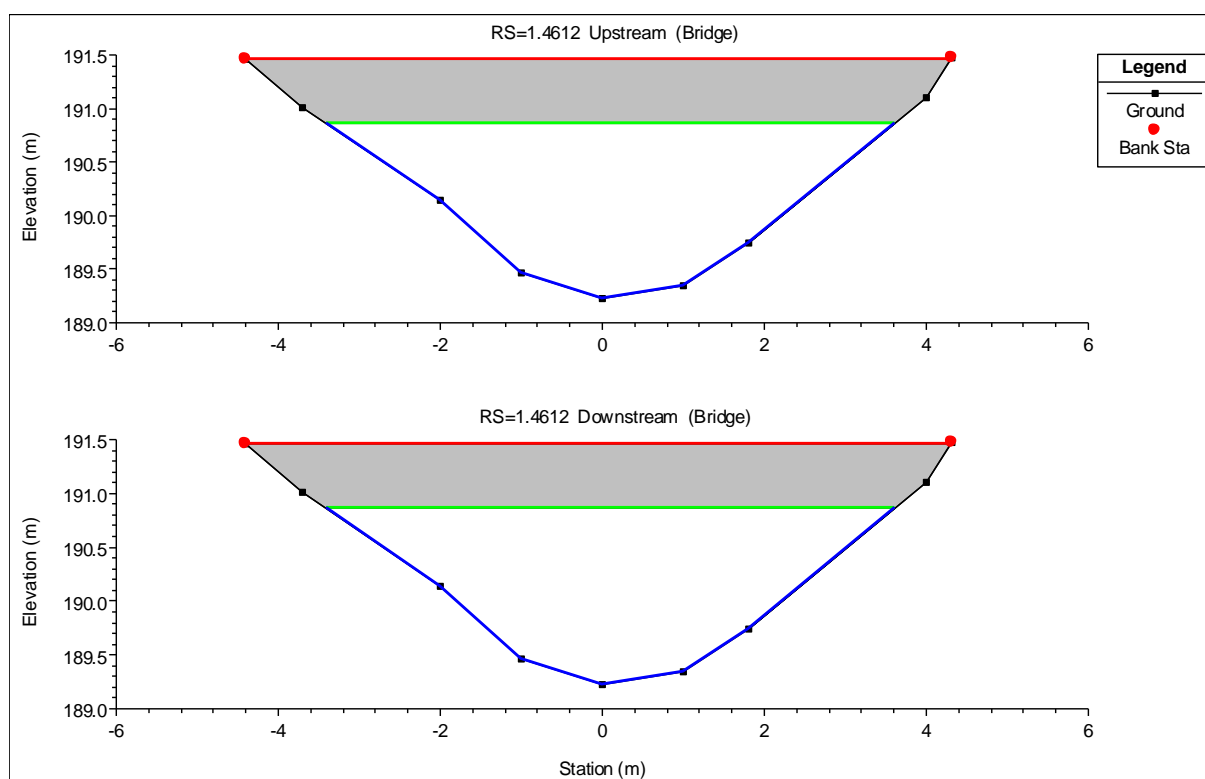
Obr. 7 SO 3 Mostní objekt – návrhový stav

5.1.3 Stavební objekt SO 4 – most Beneš

Daný most se nachází na vodním toku Zacharka v km 1,421. Stávající silniční most má obdélníkový průřezový profil, který je prostorově nevyhovující a málo kapacitní. V rámci zkapacitnění je navržen nový most s větším využitelným průřezovým profilem a tloušťkou mostovky 0,6 m.



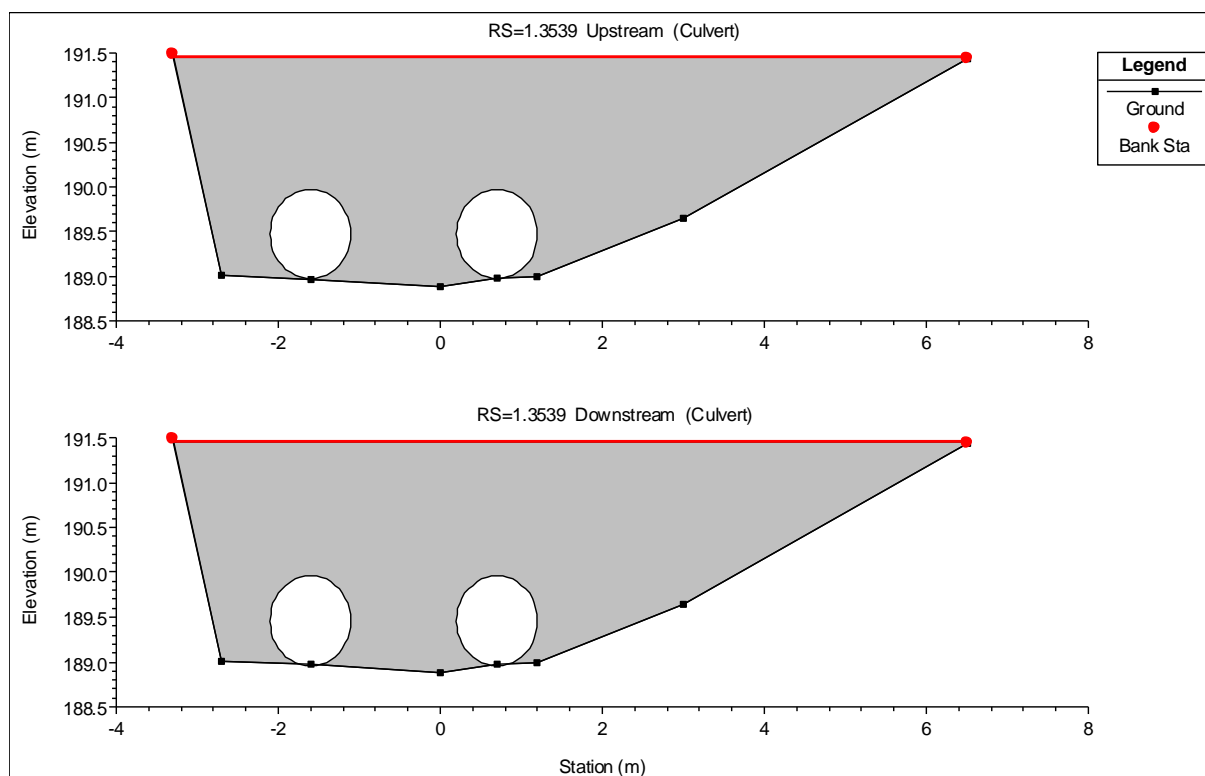
Obr. 8 SO 4 Most Beneš – stávající stav



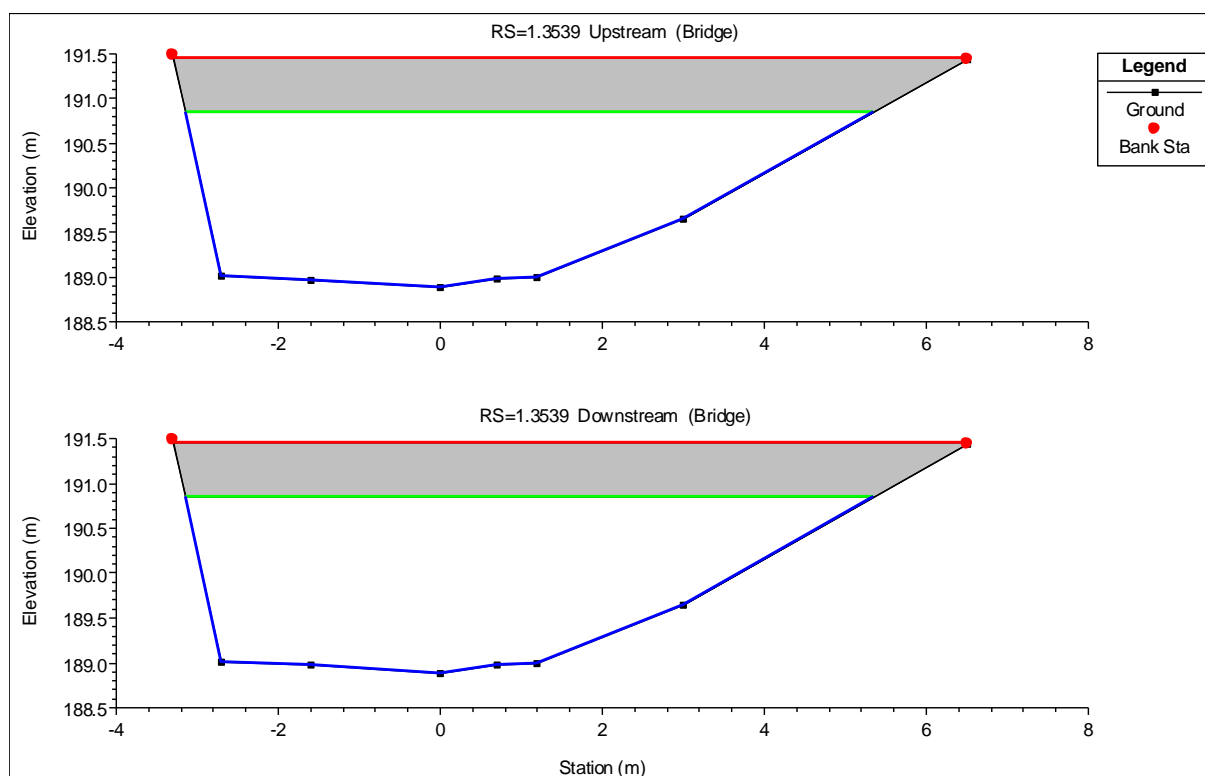
Obr. 9 SO 4 Most Beneš – návrhový stav

5.1.4 Stavební objekt SO 5 – most

Ve stávajícím stavu se na místě SO 3 v km 1,309 nachází silniční betonový propustek o dvou potrubích DN 1000. Daný propustek je také kapacitně nevyhovující. V rámci protipovodňové ochrany je navrženo zrušení propustku a nahrazení silničním mostním objektem o tloušťce mostovky 0,6 m.



Obr. 10 SO 5 Propustek – stávající stav



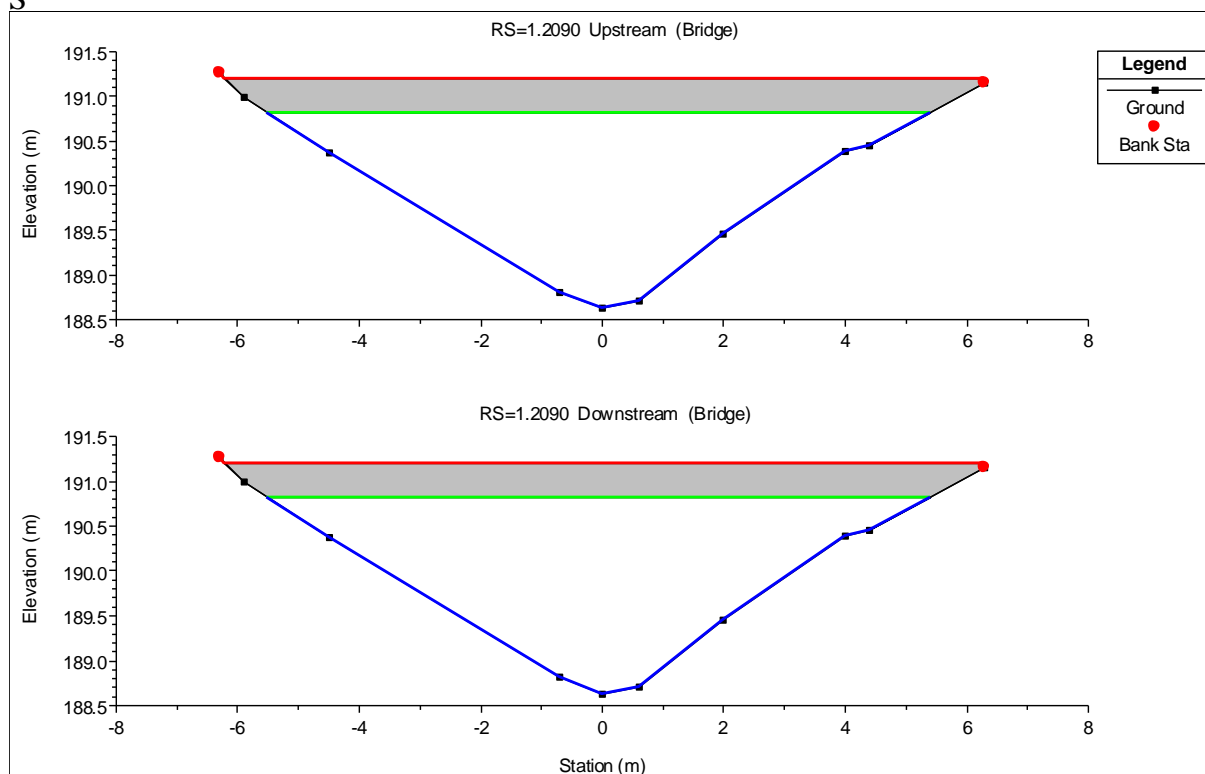
Obr. 11 SO 5 Most – návrhový stav

5.1.5 Stavební objekty SO 6, SO 07

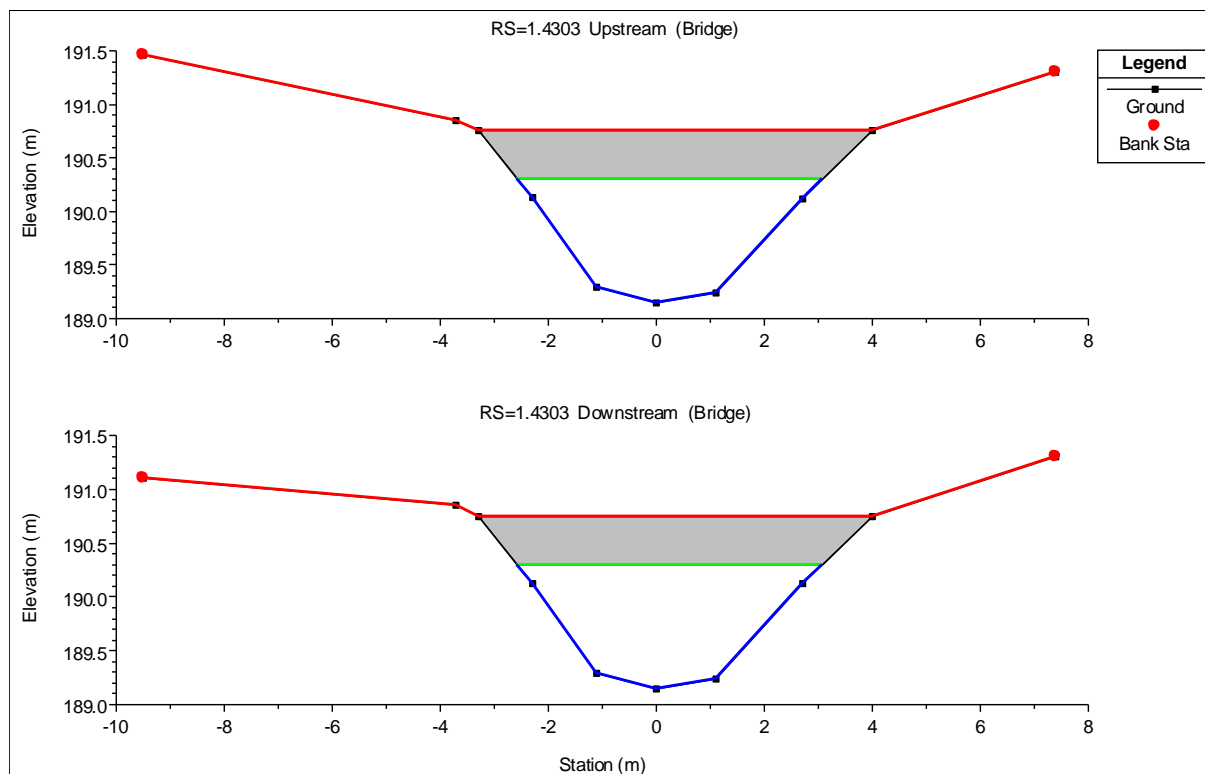
Návrh PPO počítá i se zrušením málo využívaných a hlavně málo kapacitních objektů na vodním toku Zacharka. Jde o následující dva objekty:

- SO 6 Mostek v km 1,387
- SO 7 Lávka v km 1,183

S



Obr. 12 SO 6 Lávka Km 1,183 – stávající stav



Obr. 13 SO 7 Mostek Km 1,1387 – stávající stav

Jako další varianta byl navrhnout propustek pro ochranu domova seniorů a přilehlých objektů.

5.1.6 Stavební objekt SO 8 – propustek v tělese komunikace

Propustek je navržen v zemním tělese komunikace, která propojuje městské části Kotojedy a Vážany. Hlavní cíl propustku je ochránit přilehlý domov pro seniory vytvořením průtočného prostoru v tělese komunikace a umožnění kumulující vodě protékání skrz silnicí. Tvar propustku je obdélníkový s šířkou 15 m a výškou 0,6 m. Účinek opatření je vidět v příloze C.2.2.

6 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY

V rámci hydraulických výpočtů bylo hlavním cílem posouzení současného stavu a navržených PPO na vodních tocích Kotojedka v km 0,000 – 6,618 a Zacharka v km 0,000 – 3,779.

Hydraulické výpočty byly provedeny s použitím spřaženého 1D a 2D numerického modelu.

Obecně pojem model znamená účelové zjednodušení zobrazení nějakého reálného nebo abstraktního světa.

Modely se rozlišují na následující druhy:

- koncepční model,
- matematický model,
- numerický model [18].

6.1 Koncepční model

Koncepčním modelem rozumíme soubor předpokladů, vedoucí k praktickému modelovému řešení. Jde o naši subjektivní představu o realitě [19].

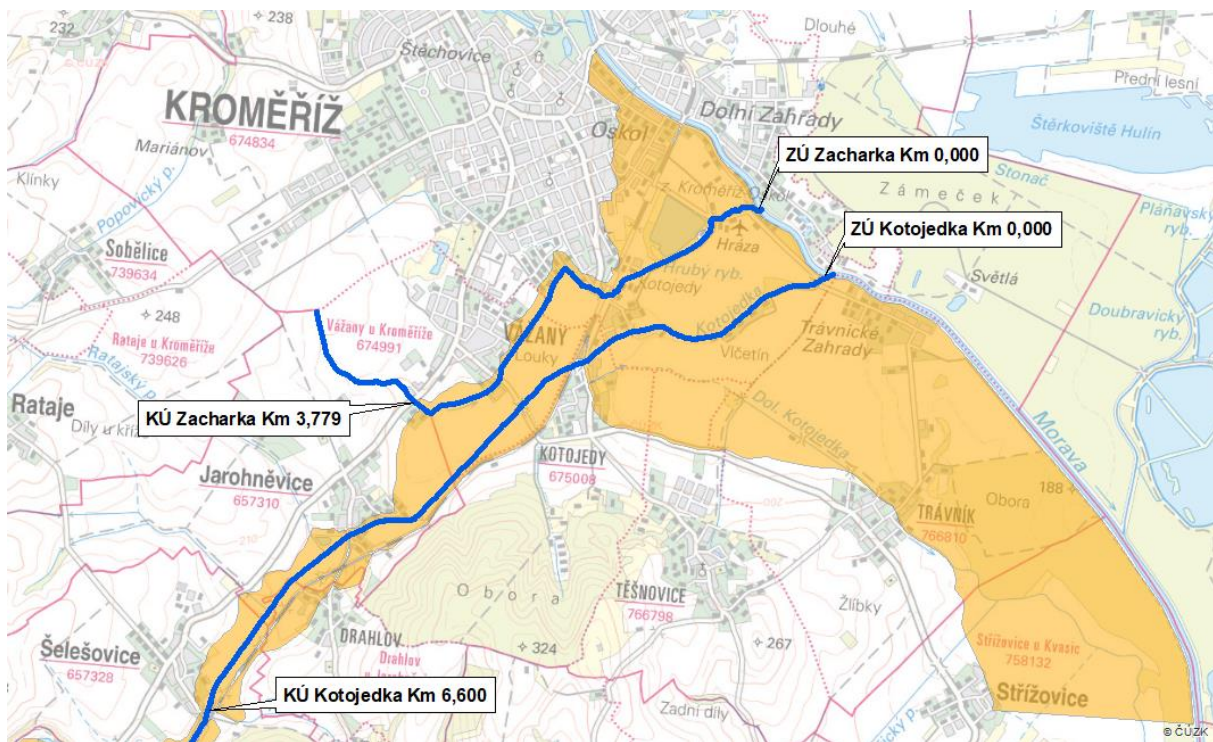
6.1.1 Zájmová oblast

Předmětem řešení je zájmová oblast toku Kotojedka ve staničení km 0,000 – 6,600 a Zacharka ve staničení km 0,000 – 3,780 jako jeden celek. Oblast je vymezena rozsahem záplavového území kulminačního průtoku Q_{500} s patřičnou rezervou viz obr. 14. [20].

Na vodním toku Kotojedka jsou 4 přítoky, konkrétně pravobřežní potok Trňák, levobřežní Ratajský potok a 2 bezejmenné přítoky. Kotojedka protéká převážně zemědělskými pozemky a částečně zastavěným územím viz. kap. 4.1.1.

Na vodním toku Zacharka se nachází pouze jeden bezejmenný levobřežní přítok. Trasa Zacharky vede z velké části kolem zastavěného území města Kroměříž, na pravém břehu je inundační území tvořeno převážně zemědělskými pozemky viz kap. 4.2.2.

Na daných úsecích je také velké množství objektů jako např. silniční a železniční mosty, lávky a propustky viz kap. 4.4.



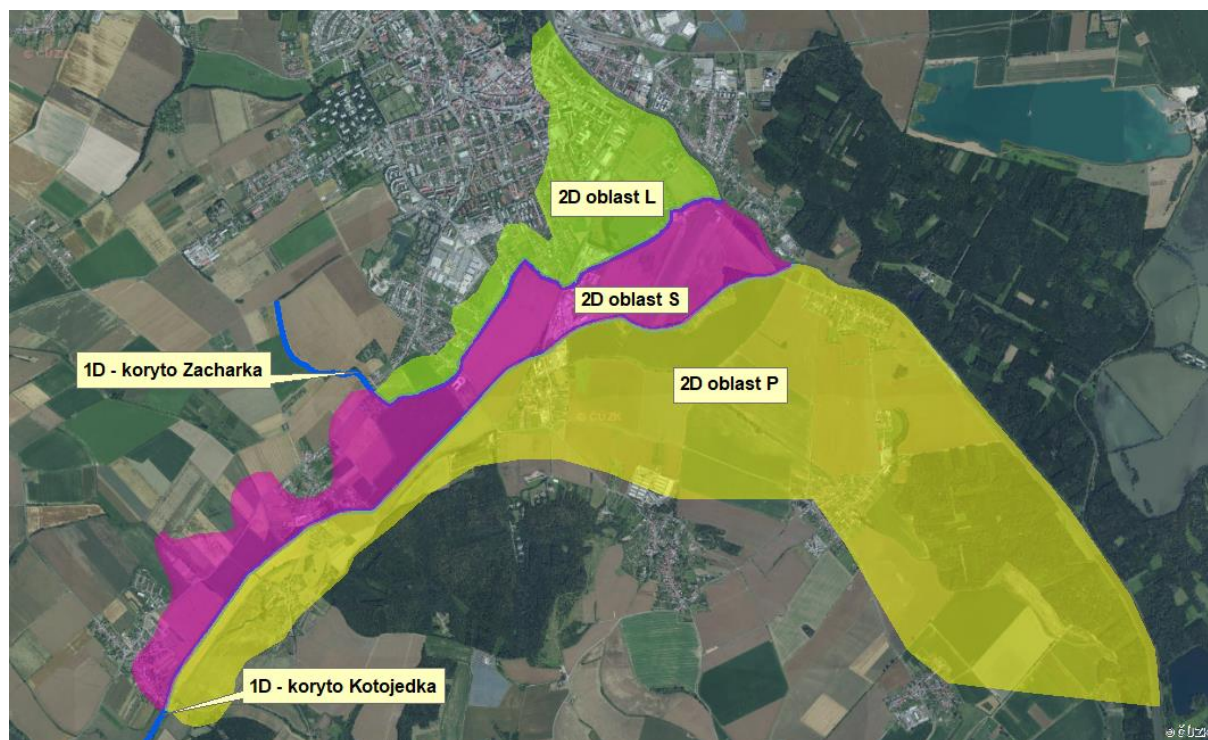
Obr. 14 Vymezení zájmové oblasti – průtok Q_{500} [7] [20]

6.1.2 Volba modelu

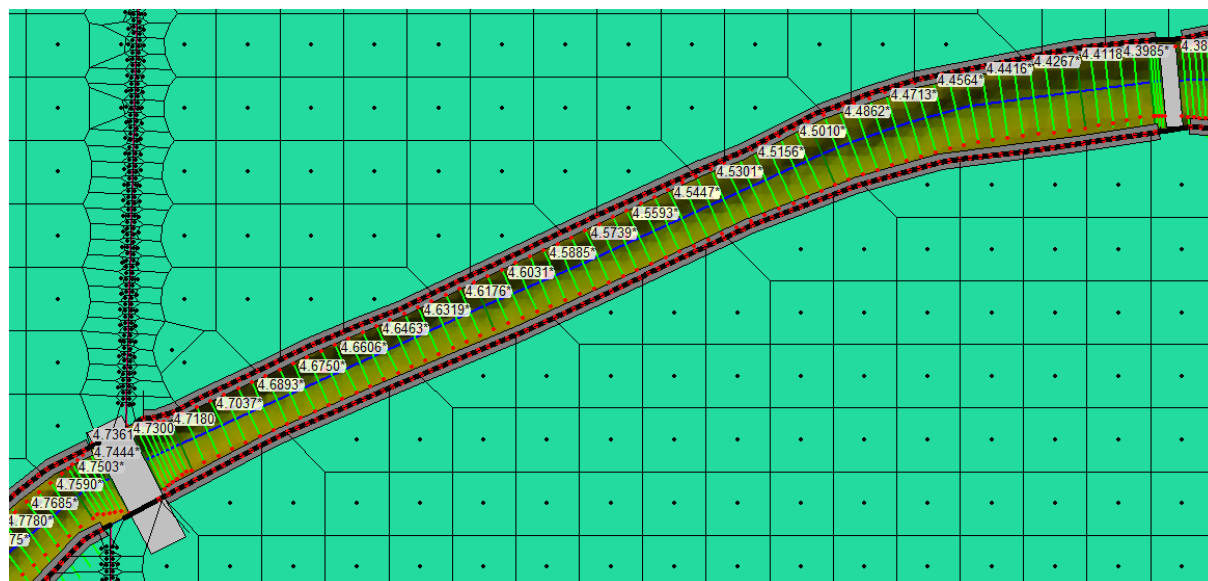
Z důvodu rozsahu řešeného území a charakteru řešeného úseku byl použit spřažený 1D/2D numerický model. Pomocí 1D modelu bylo řešeno proudění v korytě. Hlavním podkladem 1D modelu bylo geodetické zaměření vodních toků [2] [3] [7] [8]. Osy obou vodních toků byly převzaty z podkladů DIBAVOD [5] a dopřesněny pomocí mapových podkladů (ortofotomapa) [21]. Vzdálenost mezi zaměřenými profily většinou příliš velká. Proto byla mezi profily provedena interpolace a dotvarování koryta. Objekty na tocích byly zadávány jako samostatné geometrické prvky v programu HEC-RAS 5.0.7. Některé objekty byly dodatečně pozměněny, přidány nebo odebrány po prozkoumání mapových podkladů [21] a místním šetření [22].

Proudění mimo koryto v inundační oblasti bylo řešeno 2D modelem. Konkrétně se jedná o ortogonální výpočtovou síť s velikostí elementu 20x20 m.

Propojení 1D a 2D modelu bylo pomocí boční (laterální) struktury (břehové hrany toku) viz obr. 16. Výpočty byly prováděny za předpokladu nerovnoměrného ustáleného proudění. Model byl řešen nestacionární metodou s dostatečnou dobou kulminace průtoku zajišťující ustálení zkoumaných hydraulických veličin (hloubka, rychlost proudění), což výsledky posunuje na stranu bezpečnosti.



Obr. 15 Řešená oblast – stávající stav [21]



Obr. 16 Ukázka schematizace spřaženého 1D/2D modelu (autor)

6.1.3 Použitý software

Pro vypracování spráženého modelu 1D//2D byl využit následující software:

- **HEC-RAS 5.0.7** – nástroj od US Army of Engineers k provádění 1D, 1D/2D a 2D hydraulických výpočtů proudění vody, poskytuje výstupní parametry např. hloubka vody a rychlost, které byly využity v bakalářské práci [23];
- **Autodesk CIVIL 3D** – software od firmy Autodesk určený pro navrhování stavební infrastruktury, použitý pro zpracování geodetických podkladů a tvorbu výstupů [24];
- **ArcGIS** – jde o mapovací software od firmy Esri, umožňující propojení více mapových podkladů a tvorbu výstupů, byl využit pro vytvoření vstupních podkladů jako např. digitální model terénu a břehové linie nebo výsledných map [25];
- **Microsoft Office Excel** – tabulkový software od firmy Microsoft pro analýzu a vizualizaci dat, byl využit pro zpracování geodetických dat, kontrolu hladin a jako pomocný nástroj [26].

6.2 Matematický model

Matematický model popisuje určitý výsek vnějšího světa matematickými prostředky. Pro proudění vody v korytech ho lze rozdělit podle prostorové dimenze na:

- Jednorozměrný 1D;
- Dvojměrný 2D;
- Trojměrný 3D [27] [28].

V této studii bylo jednorozměrným modelem řešeno proudění v korytě a dvojměrným modelem bylo řešeno inundační území kolem toků Kotojedka a Zacharka.

6.2.1 1D model

Jednorozměrný model se nejčastěji používá pro proudění v otevřených korytech, případně v sevřeném území. V průtočném profilu je dostatečná aproximace konstantní polohou hladiny a průřezovou rychlostí [27].

Pro jednorozměrné modelování proudění vody jsou dány následující předpoklady:

- předpoklad hydrostatického rozdělení tlaku po svislici;
- předpoklad horizontálního proudění v korytě, tj. podélný sklon dna je malý;
- nestlačitelné proudící medium (voda);
- vektor rychlosti je nahrazen průřezovou rychlostí $v(x,t)$;
- vyloučení vzniku významné složky zrychlení ve vertikální rovině, tj. délka vlny za neustáleného proudění je několikanásobně vyšší než hloubka vody;
- možná aproximace odporového členu pro neustálené proudění Chézyho vztahem [27].

Jednorozměrný model vychází ze Saint Venantových rovnic o zachování hmotnosti a rovnice hybnosti, kde jsou neznámými:

- průtočná plocha $A(x,t)$,
- průřezová rychlost $Q(x,t)$,
- průtok $Q(x,t)$,
- hloubka vody $h(x,t)$,
- sklon čáry energie $i(x,t)$ [27].

Rovnice kontinuity (pro nestlačitelnou kapalinu):

- vychází ze zákona zachování energie

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (6.1)$$

Rovnice hybnosti:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{A} \right) + \frac{Q}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} = g [i_0 - i], \quad (6.2)$$

kde:

- A průtočný průřez [m^2],
 Q průtočné množství [m^3/s],
 h hloubka vody v profilu [m],
 x vzdálenost ve směru osy [m],
 g gravitační zrychlení [m/s^2],
 i_0 sklon dna [-],
 i sklon čáry energie [-],
 v průřezová rychlost [m/s].

Sklon čáry energie lze vyjádřit pomocí Chézyho vztahu:

$$i = \frac{v|v|}{C^2 R}, \quad (6.3)$$

kde:

- C Chézyho rychlostní součinitel [$\text{m}^{0.5}/\text{s}$],
 R hydraulický poloměr [m].

Pro Saint Venantovy rovnice platí příslušné počáteční a okrajové podmínky.

Počáteční podmínky:

$$Q(x, t_0) = Q_0(x), \quad (6.4)$$

$$A(x, t_0) = A_0(x), \quad (6.5)$$

kde $Q_0(x)$ a $A_0(x)$ jsou známé zadané funkce prostorové proměnné x charakterizující stav v čase $t_0 = 0$ [27].

Okrajové podmínky:

$$Q(x_0, t) = Q_0'(t), \quad (6.6)$$

$$A(x_0, t) = A_0'(t), \quad (6.7)$$

$$Q(x_L, t) = Q_L'(t), \quad (6.8)$$

$$A(x_L, t) = A_L'(t), \quad (6.9)$$

jsou plochy a časové průběhy v levé krajním bodě $x = x_0 = 0$ a pravém krajním bodě $x = x_L = L$ [27].

6.2.2 2D model

Dvojrozměrný model (dále jen 2D model) na rozdíl od jednorozměrného modelu dává výsledky o plošném rozdělení rychlostí a hloubek v celém řešeném území. 2D model je však díky tomu náročnější na vstupní data, výpočet a dobu zpracování. Použití 2D modelu je např. v širokém inundačním území, kde je území dost členité a je třeba stanovit plošné rozložení charakteristik průběhu povodně v daném území [27] [28].

Charakteristiky průběhu povodně u 2D modelu:

- hloubka vody $h(x, y, t)$;
- složka vektoru svislicové rychlosti $v_{xs}(x, y, t)$, $v_{ys}(x, y, t)$ [28].

2D model je popsán soustavou 3 parciálních diferenciálních rovnic, které jsou odvozeny ze zákona o zachování hmotnosti a věty o změně hybnosti [28]:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h * v_{xs}) + \frac{\partial}{\partial y}(h * v_{ys}) = 0 \quad (6.10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(h * v_{xs})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h * v_{xs}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(h * v_{xs} * v_{ys}) - f * h * v_{ys} + g * h * \frac{\partial a}{\partial x} - \\ - \frac{1}{\rho} * (\tau_{hx} - \tau_{dx}) - \frac{1}{\rho} * \frac{\partial}{\partial x}(h * T_{xx}) - \frac{1}{\rho} * \frac{\partial}{\partial y}(h * T_{xy}) = 0 \end{aligned} \quad (6.11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(h * v_{ys})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h * v_{ys}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(h * v_{xs} * v_{ys}) - f * h * v_{xs} + g * h * \frac{\partial a}{\partial y} - \\ - \frac{1}{\rho} * (\tau_{hy} - \tau_{dy}) - \frac{1}{\rho} * \frac{\partial}{\partial x}(h * T_{xy}) - \frac{1}{\rho} * \frac{\partial}{\partial y}(h * T_{yy}) = 0 \end{aligned} \quad (6.12)$$

kde:

- h hloubka vody v profilu [m],
 H poloha hladiny [m],
 t čas [s],
 x, y souřadnice v kartézské souřadné soustavě [m],
 T turbulentní napětí [Pa],
 τ smyková napětí na dně a hladině [Pa],
 f Coriolisův parametr [-] [22],

Počáteční podmínky jsou rychlosti $v_{x0}(x, y)$ a hloubky vody $h_0(x, y, t)$ na počátku řešení v čase t_0 :

$$v_{xs}(x, y, 0) = v_{xs0}(x, y) \quad (6.13)$$

$$v_{ys}(x, y, 0) = v_{ys0}(x, y) \quad (6.14)$$

$$h(x, y, 0) = h_0(x, y) \quad (6.15)$$

Okrajové podmínky jsou zadané rychlosti a hloubky vody na hranici oblasti.

$$v_{xs}(x, y, t) = v_{xs}(t)/\Gamma_1 \quad (6.16)$$

$$v_{ys}(x, y, t) = v_{ys}(t)/\Gamma_1 \quad (6.17)$$

$$h(x, y, t) = h(t)/\Gamma_2 \quad (6.18)$$

Cílem řešení a úkolem je nalézt neznámé funkce v_{xs} , v_{ys} a h , které splňují počáteční a okrajové podmínky [22].

6.3 Numerický model

6.3.1 Podklady

Pro přípravu vstupních dat a jejich následné využití do numerického modelu byly použity následující podklady:

- podélné a příčné profily vodních toků Kotojedka a Zacharka [2] [3] [7] [8],
- situace toků s příčnými profily [1],
- digitální model reliéfu 5. generace [30],
- hydrologická data [2] [7],
- mapové podklady [4],

- ortofoto zájmové lokality [21],
- Open street map – zadávání drsností [29],
- místní šetření zájmové lokality [18].

6.3.2 Okrajové podmínky

Zadávání okrajových podmínek (dále jen OP) bylo provedeno vždy na začátku úseku (dolní okrajová podmínka) a na konci úseku (horní okrajová podmínka) daného toku.

Hydraulické výpočty byly řešeny zároveň na obou tocích. Simulování řešených kulminačních průtoků bylo jen u vodního toku Kotojedka. Průtok ve vodním toku Zacharka byl pro všechny řešené scénáře zvolen jako Q_1 .

Zadávání OP hydraulických výpočtů bylo následující:

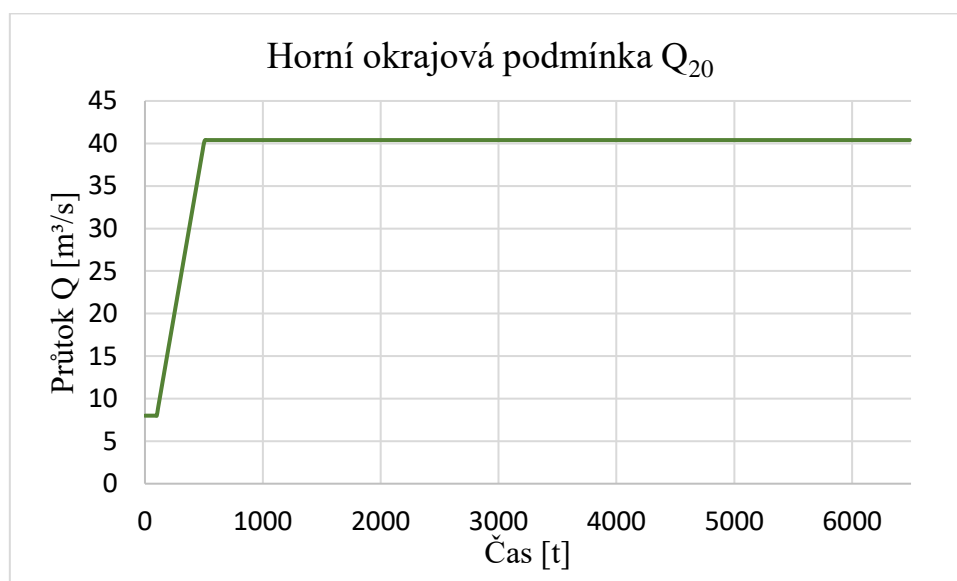
- Stávající stav:
 - o Vodní tok Kotojedka – výpočet pro kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100}
 - o Vodní tok Zacharka – výpočet pro kulminační průtok Q_1
- Návrhový stav:
 - o Vodní tok Kotojedka – výpočet pro kulminační průtoky Q_{20}
 - o Vodní tok Zacharka – výpočet pro kulminační průtok Q_1

Horní okrajová podmínka

Horní okrajová podmínka byla zadávána pomocí hydrogramu povodně pro kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} v Km 6,600 (Kotojedka) a v km 3,779 (Zacharka). Model byl řešen nestacionární metodou. Z důvodu dosažení nerovnoměrného ustáleného proudění byl pro každý průtok vytvořen hydrogram povodně s plýnulým nárůstem průtoku na začátku a dlouhou dobou kulminace. Hydrogram povodně byl zadán v intervalech po 10 minutách s celkovou délkou 108 hodin a 10 minut (6490 minut). Řešené území je rovinaté, tudíž dochází k velkým a dlouho trvajícím rozlivům. Délka hydrogramu povodně mohla být volena ještě delší.

Tab. 11 Horní okrajová podmínka Q_{20} (Kotojedka km 6,600)

t [min]	0	200	400	600	2000	3490
Q [m ³ /s]	8,00	16,00	32,00	40,40	40,40	40,40



Obr. 17 Horní okrajová podmínka Q_{20} (Kotojedka km 6,600) [4]

Dolní okrajová podmínka

Dolní okrajová podmínka byla zadávána pomocí měrné křivky, určené z posledního zaměřeného profilu na obou tocích před ústím do Moravy [2] [7]. Z daného profilu byla odečtena známá nadmořská výška polohy hladiny v řece Moravě u jednotlivých průtoků.

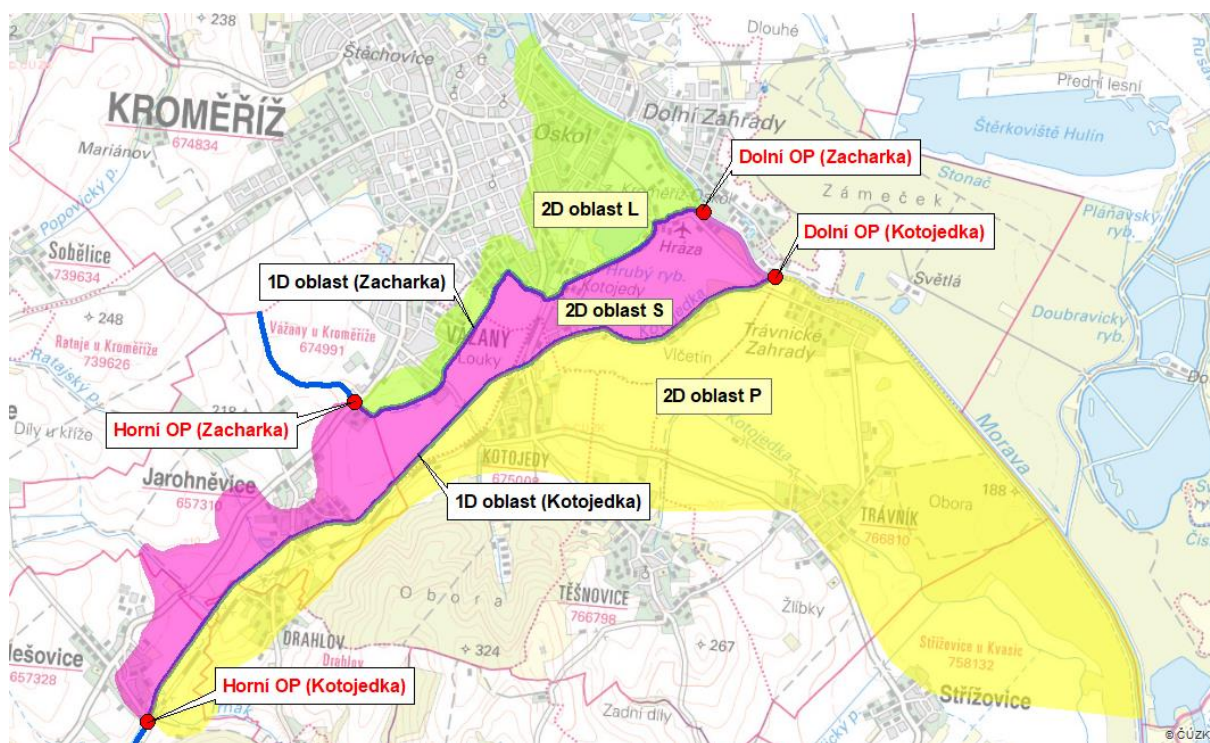
Tab. 12 Dolní okrajová podmínka (Kotojedka) [2]

Q_N	1	5	20	50	100
$Q [m^3/s]$	8,60	22,60	40,40	55,10	68,00
$H [m \text{ n.m.}]$	187,58	188,76	189,45	189,60	189,77

Tab. 13 Dolní okrajová podmínka (Zacharka) [7]

Q_N	1	5	20	50	100
$Q [m^3/s]$	0,80	1,30	3,00	5,70	9,00
$H [m \text{ n.m.}]$	187,88	189,07	189,78	189,94	190,10

Zadávání okrajových podmínek bylo stejné jak pro ověření stávajícího stavu, tak pro návrhový stav s PPO. Pro stávající stav šlo o podmínky, vycházející z kulminačních průtoků Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Ověření návrhového stavu se provádělo pro návrhový průtok Q_{20} .



Obr. 18 Okrajové podmínky – stávající stav [4]

6.3.3 Morfologie dané oblasti

Samotný tvar koryta toků byl v rámci 1D modelu zadán z geodetického zaměření příčných profilů, zpracované povodím Moravy a.s. [3] [8]. Z těchto podkladů byly do modelu zpracovány i objekty, především mosty a lávky. Zadávání bylo kontrolováno pomocí mapových podkladů (ortofotomapa) [21] a místního šetření [18]. Pokud bylo zjištěna odchylka od geodetického zaměření, např. nový nezaměřený objekt, byl model doplněn a opraven.

Morfologie záplavových oblastí byly do 2D modelu přidány pomocí digitálního modelu reliéfu (DMR) [30]. DMR byl do modelu importován z programu ArcGIS ve formátu * tiff.

6.3.4 Drsnosti vodního toku a záplavových oblastí

Drsnosti koryta byly zadány jednotně pro dno i svah po celé délce obou toků hodnotou dle Manninga $n = 0,045$.

V záplavových oblastech se drsnost zadávala ke každému typu elementu převážně pomocí mapových podkladů (ortofotomapa) [21]. U zadávání drsností budov byl použit podklad Open street map s případným doplněním z jiných mapových podkladů [29]. Jednotlivé typy elementů byly rozděleny do skupin dle drsnosti povrchu a k nim byla přiřazena konkrétní hodnota drsnosti dle Manninga viz tab 12.

Tab. 14 Hodnoty drsností pro 2D oblasti dle Manninga

Druh povrchu	Drsnost n [-]	Index
Povrch hustě zarostlý náletovými dřevinami	0,2	1
Ostatní plocha v sídlech	0,045	2
Budovy	0,5	3
Vodní plocha	0,01	5
Les	0,12	6
Zahrada	0,08	8
Orná půda	0,03	9
Oplocené zahrady	0,15	10
Travní porost	0,03	11
Zpevněné komunikace	0,015	12
Oplocený pozemek (průmyslové areály)	0,15	14



Obr. 19 Ukázka rozdělení drsností ve 2D oblasti [21]

6.3.5 Výpočtová síť

Ve 2D modelu se využilo pro proudění vody v záplavové oblasti vybavení programu HEC-RAS. Jde o čtvercovou ortogonální síť. Velikost elementu se volila 20x20 m s tím, že u míst,

se složitější morfologií terénu ovlivňující charakter proudění (např. zemní tělesa komunikací), se volila menší velikost elementu, více kap. 7.1.2.

6.3.6 Nejistoty vstupních dat

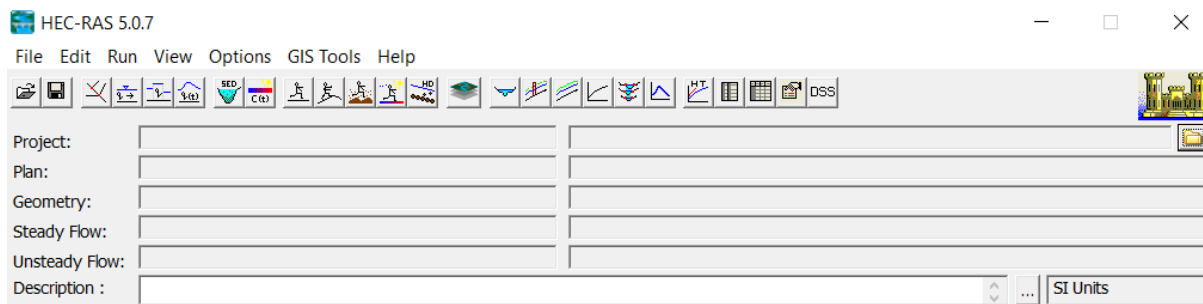
U modelu, který je zjednodušením skutečnosti dochází vždy k určitým odchylkám od skutečného stavu. Jedná se především o nepřesné zadání geometrie toku, součinitel drsnosti, hydrologické údaje, propojení 1D a 2D modelu a také velikost elementu výpočtové sítě. Nejistoty v morfologii terénu byly zapříčiněny přesností a podrobností dostupného digitálního modelu terénu [30].

7 ZPRACOVÁNÍ MODELU V PROGRAMU HEC-RAS

Pro zpracování hydraulických výpočtů byl zvolen program HEC-RAS od US Army Corps of Engineers. Jednalo se o verzi 5.0.7. Daný program je volně šiřitelný software pro modelování 1D a 2D hydraulických výpočtů [13].

Program HEC-RAS má několik funkcí jako např.:

- Výpočet proudění vody v profilech s ustáleným průtokem (Steady Flow Water Surface Profiles);
- 1D a 2D simulace nestacionárního toku (One- and Two-Dimensional Unsteady Flow Simulation);
- Výpočet transportu splavenin (Steady Transport/Movable Boundary Computations);
- Analýza kvality vody (Water Quality Analysis);
- Ukládání a spravování dat;
- Tabulkové a grafické zpracování výsledků;
- Mapování výsledku (Ras Mapper) [23].



Obr. 20 Základní prostředí programu HEC-RAS

V rámci bakalářské práce byly využité především funkce Geometric data (zadávání geometrie 1D a 2D oblasti), Unsteady Flow Data (zadávání okrajových podmínek), Unsteady Flow Analysis (hydraulický výpočet) a Ras Mapper (Prohlížení mapových výsledků v mapovém prostředí).

7.1 Postup řešení

V rámci této studie byl nejprve vytvořen 1D model koryta a proveden výpočet pomocí ustáleného i neustáleného proudění. Poté byl vytvořen 2D model záplavových oblastí. Na závěr došlo ke spřažení 1D a 2D modelu.

7.1.1 1D model

V rámci 1D modelu byly hlavními podklady geodetické zaměření [1] [2] [3] [7] [8] a mapové podklady [4] [21] v programu ArcGIS. Z geodetického zaměření se jednalo především o příčné profily a podélný profil dostupné ve formátu *.dxf. Hlavním úkolem bylo vložení osy toků a příčných profilů do programu HEC-RAS.

Import os jednotlivých toků se provedlo pomocí programu ArcGIS. Při tvorbě osy toku bylo využito dat ze struktury DIBAVOD [5]. Následně došlo k úpravě trasy pomocí mapových podkladů (ortofotomapa) [21]. Do programu HEC-RAS byly osy přidány přes funkci Ras Mapper. Trasy byly následně georeferencovány (souřadný systém Křovák 5514).

Příčné profily byly ze souborů *.dxf. převedeny do formátu *.xls. viz tab. 13. U některých profilů se lišila vzdálenost mezi profily s daty od Povodí Moravy [3] [8]. Rozdíl nastal díky využití osy z DIBAVOD, kde došlo k úpravě trasy a tudíž i délky.

Reálná délka vodního toku byla u 6 665,6 m (Kotojedka) a 3 819,8 m (Zacharka). Dle použitých podkladů od Povodí Moravy, s.p. byla délka 6 600 m (Kotojedka) [3] a 3 882 m (Zacharka).

Tab. 15 Ukázka převedení příčných profilů do formátu *.xls

PF15	x [m]	z [m]
Stan. dle zaměření	-9.6	189.64
0.9230	-5	189.75
Stan. (skut. stav)	-2.9	188.81
0.9482	-1.2	188.32
Vzdálenost od dolního PF [m]	0	188.25
	1.3	188.45
125.6	2.9	189.09
	5.3	190.05
	10	190.06
	13.4	188.83

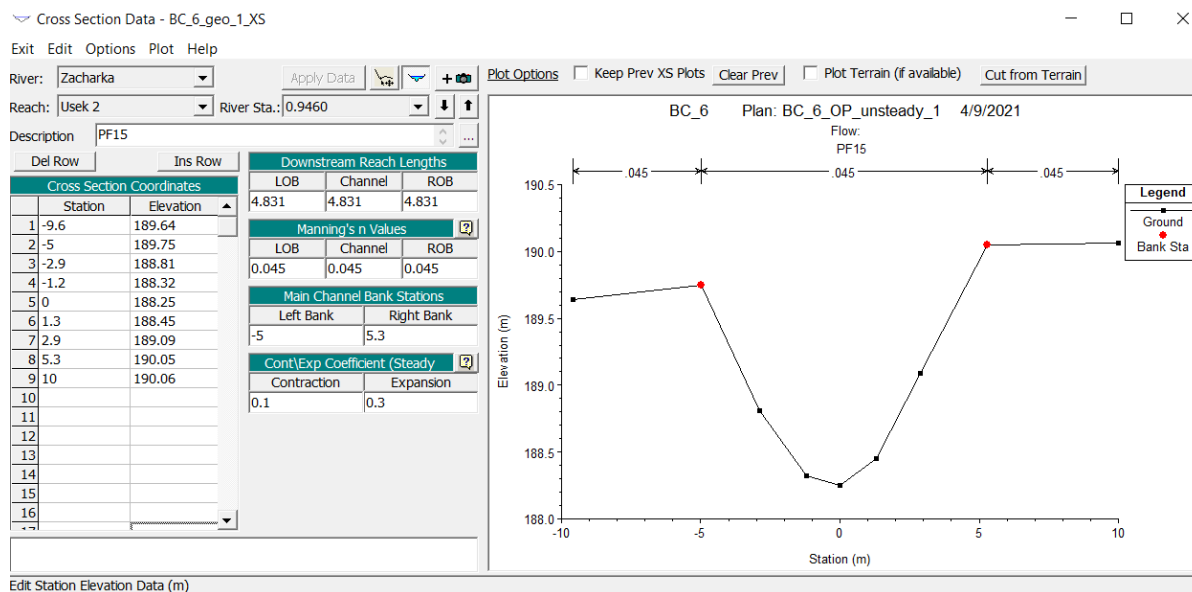
Připojení příčných profilů bylo provedeno přes funkci *Geometric data*, konkrétně pomocí záložky *Cross section Data*. V ní se následně přes okno *Options – Add a new Cross section* zadalo staničení.

V tomto prostředí se zadávaly jednotlivé parametry:

- Description – Název příčného profilu,
- Station – souřadnice bodů příčného profilu [m],
- Elevation – nadmořská výška bodů příčného profilu [m],

- Downstream Reach Lengths – Vzdálenost k dolnímu profilu [m],
- Main Channel Bank Stations – souřadnice levého a pravého bodu [m].

Celkově bylo přidáno u Kotojedky 72 příčných profilů a u Zacharky 56 příčných profilů. Ty byly následně georeferencovány s trasou obou toků. Ke stabilitě modelu bylo nutné zhušťit síť příčných profilů především u zadaných objektů. Byla provedena interpolace příčných profilů po 5 m, u objektů po 2 m.

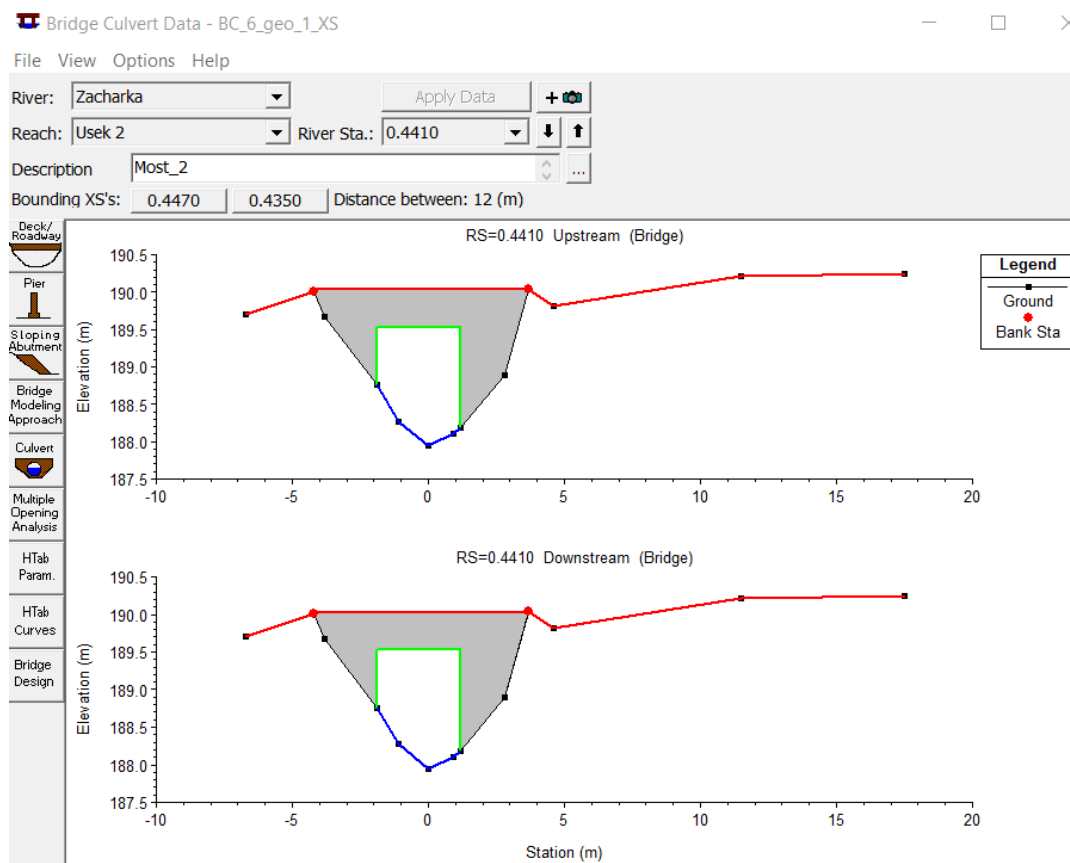


Obr. 21 Ukázka zadávání příčných profilů – Zacharka – PF 15

Do 1D modelu bylo nutné ještě vložit objekty. Jako podklad pro zadávání objektů bylo stejně jako u příčných profilů využito geodetického zaměření příčných profilů [3] [8].

U zadávání objektů bylo třeba zajistit příčné profily nad a pod objektem. Pokud se zde příčné profily v rámci geodetického zaměření nenacházely, provedlo se zkopírování známého příčného profilu a vložení cca 0,2 m od hrany mostovky.

Přidání objektů se provedlo přes funkci *Geometric data*, konkrétně pomocí záložky *Bridge/Culvert data*. V okně *Options – Add a Bridge or Culvert* se zadalo staničení osy objektu.



Obr. 22 Uživatelské rozhraní – Bridge Culvert Data (autor)

Zadávání mostů a lávek se provádělo převážně pomocí okna *Deck/Broadway*, kde se vkládaly následující parametry:

- Distance – vzdálenost od dolního profilu,
- Width – Šířka mostovky/lávky,
- Weir Coef – součinitel přepadu,
- Station – souřadnice bodů objektu,
- High/Low chord – horní/dolní hrana mostovky.

Propustky se do modelu zadávaly rovněž přes *Bridge Culvert data* pomocí okna *Culvert*, kde se zadávaly jednotlivé parametry:

- Shape – tvar,
- Span – šířka propustku [m],
- Rise – výška [m],
- Chart – typ,
- Distance tu Upstream XS – vzdálenost k hornímu profilu,
- Culvert Length – délka propustku,

- Entrance Loss Coeff – koeficient ztrát na vtoku,
- Manning's n for Top/Bottom – stupeň drsnosti n pro strop/dno,
- Upstream/Downstream Invert Elev. – kóta dna na vtoku/výtoku,
- Centerline Stations – umístění osy propustku.

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
0.5	11.	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream			Downstream			
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord	
1	-4.2	190.03	187.95	-4.2	190.03	187.95
2	-1.9	190.03	187.95	-1.9	190.03	187.95
3	-1.9	190.03	189.53	-1.9	190.03	189.53
4	1.2	190.03	189.53	1.2	190.03	189.53
5	1.2	190.03	187.95	1.2	190.03	187.95
6	3.7	190.03	187.95	3.7	190.03	187.95
7						
8						

U.S Embankment SS: 0 D.S Embankment SS: 0

Weir Data
Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape
☒ Broad Crested
☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Obr. 23 Vkládání parametrů – mosty, lávky

Culvert Data Editor

Add ... Copy Delete ... Culvert Group: Culvert #1

Solution Criteria: Computed Flow Cc Rename ...

Shape: Circular Span: Diameter: 1

Chart #: 1 - Concrete Pipe Culvert

Scale #: 1 - Square edge entrance with headwall

Distance to Upstrm XS: 0

Culvert Length: 26

Entrance Loss Coeff: 0.2

Exit Loss Coeff: 1

Manning's n for Top: 0.014

Manning's n for Bottom: 0.014

Depth to use Bottom n: 0

Depth Blocked: 0

Upstream Invert Elev: 188.97

Downstream Invert Elev: 188.96

Culvert Barrel Data

Barrel Centerline Stations	# Barrels	
1	-1.6	-1.6
2	0.7	0.7
3		
4		
5		

Barrel GIS Data: Barrel #1 Length: 0

X	Y
1	
2	
3	
4	
5	

Individual Barrel Centerlines ... Show on Map OK Cancel Help

Select culvert to edit

Obr. 24 Vkládání parametrů – propustky

U objektů bylo nutné také zadat maximální výšku polohy hladiny nad horní hranou mostovky. Zadání se provedlo pomocí okna *Htab param*. Poloha hladiny se volila vždy cca 2 m nad horní hranou mostovky.

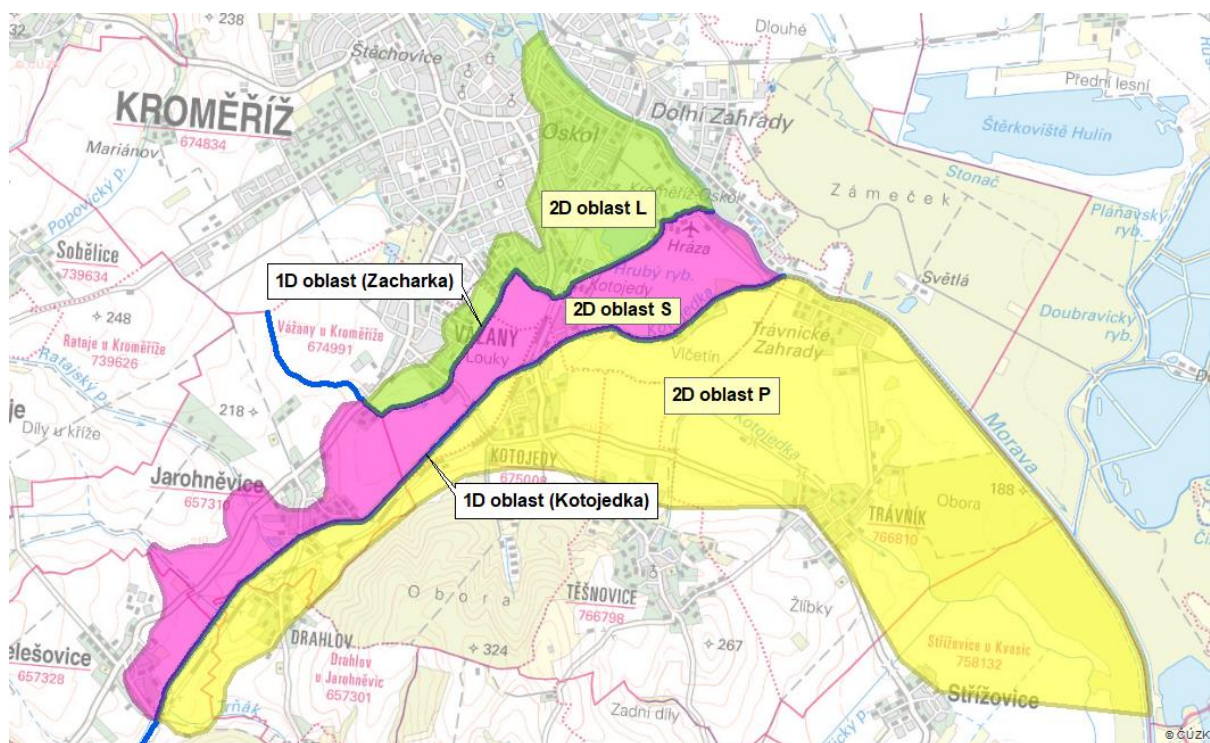
Celkově bylo do 1D modelu vloženo u vodního toku Kotojedka 11 objektů a u vodního toku Zacharka 18 objektů viz kap. 4.4

7.1.2 2D model

V rámci 2D modelu bylo hlavním cílem vytvořit výpočetní síť pro jednotlivé záplavové oblasti, která obsahovala informace o výškovém uspořádání a rozložení jednotlivých bodů. Jako hlavní podklad byl použit digitální model reliéfu [30] a jiné mapové podklady [4] [21].

Soubor pro 2D model byl vytvořen v programu ArcGIS a vložen do programu HEC-RAS přes zásuvný model Ras Mapper jako soubor *.tif. V modulu Ras Mapper byl zvolen souřadný systém Křovák 5514.

V programu ArcGIS byly rovněž vytvořeny polygony záplavových území. Hranice záplavových území byla brána s ohledem na už známé rozlivy kulminačních průtoků [20].

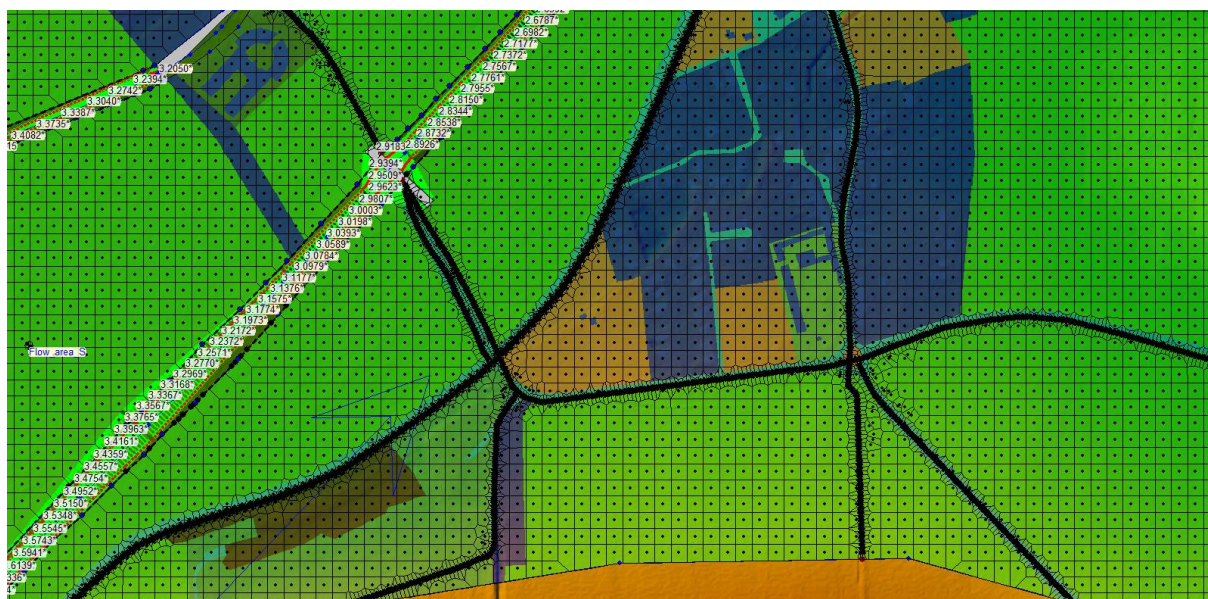


Obr. 25 Vymezení oblastí 2D modelu

Tyto polygony byly importovány do programu HEC-RAS jako *2d Flow Areas* přes okno Ras Mapper do vrstvy *Geometries*. V okně *Geometric Data – 2d Flow areas* se pro jednotlivé 2D oblasti zvolily parametry ortogonální výpočtové sítě s velikostí elementu 20x20 m.

U míst, kde by mohlo docházet k nesprávnému proudění vody (zemní těleso silnice a železnice), se vytvořily tzv. *break lines*. Díky nim se v těchto místech ortogonální síť zmenšila na velikost elementu 2x2 (1x1) m.

Dalším krokem bylo přiřazení jednotlivých drsností k ortogonální síti. Příprava souboru *.shapefile. probíhala v programu ArcGIS s využitím mapových podkladů (ortofotomapa) [21] a Open street maps [29] viz kap. 6.3.4. Výsledný polygon, rozdělený podle jednotlivých drsností se importoval přes modul Ras Mapper pomocí okna *Tools – New Land Cover*. K importovanému souboru se v okně *Manning's Value Layer* podle indexu přiřadila hodnota drsnosti dle Manninga viz. tab. 12.



Obr. 26 Ukázka ortogonální sítě včetně přidání break lines a drsnosti

7.1.3 Spřažení 1D a 2D modelu

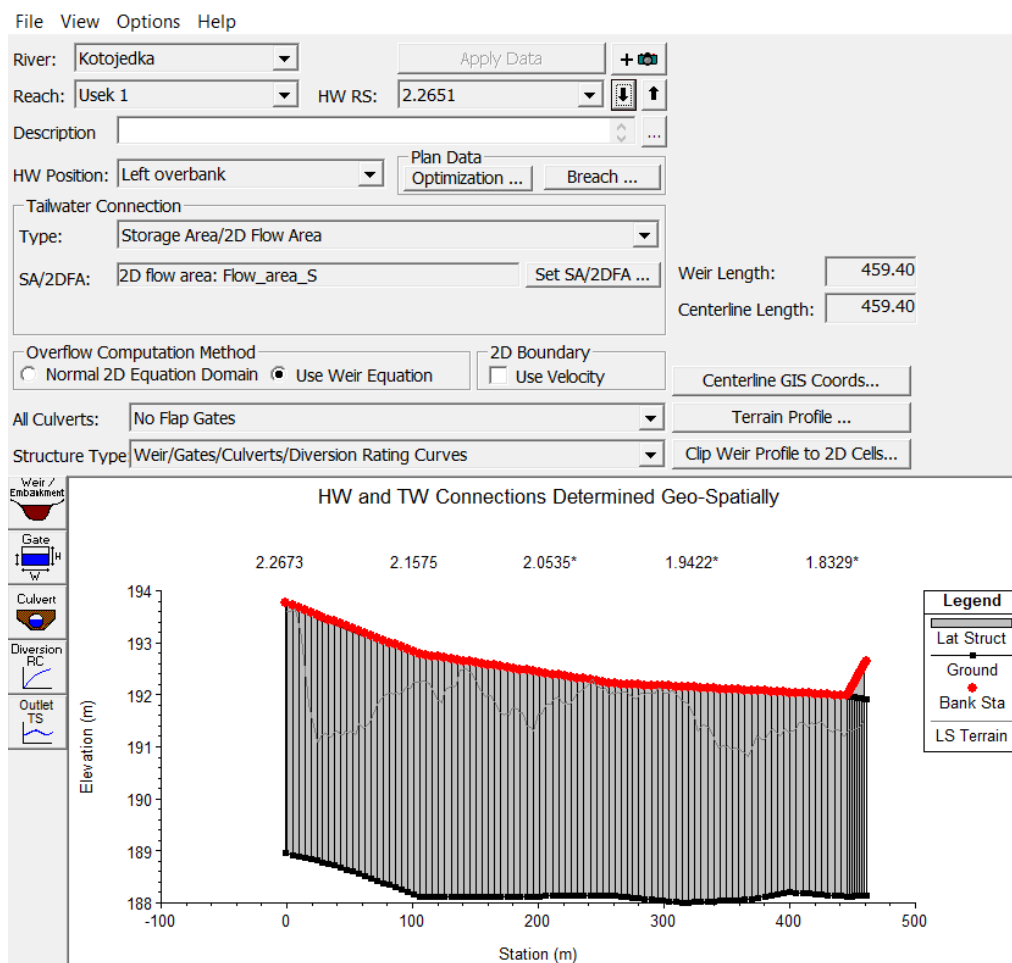
Pro spřažení 1D a 2D modelu bylo třeba vytvořit propojovací soubor. Jednalo se tzv. *lateral structure* (laterální strukturu), díky níž došlo k propojení koryta obou toků a záplavových oblastí.

V programu HEC-RAS se mohlo u vytváření laterální struktury přistoupit 2 způsoby. První způsob by zahrnoval přesné hledání břehové hrany pomocí mapových podkladů (ortofotomapa) [21] a využití digitálního modelu terénu [30]. Ten by se využil pro výškové body laterální struktury. Druhý způsob se liší tím, že samotná poloha laterální struktury nemusí být přímo na břehové hraně, ale výškové body se doplní pomocí břehových hran zaměřených příčných profilů [3] [8].

Z důvodu menších toků a často složité identifikaci břehové hrany pomocí mapových podkladů, byl v této práci využit druhý způsob. Trasa laterální struktury se vytvořila mezi objekty v programu ArcGIS jako soubor *.shapefile. Bylo nutné se vždy přiblížit k břehovým hranám toku.

V samotném modelu se laterální struktura vkládala v okně *Geometric Data* v záložce *Lateral Structure*. V tomto okně se zadávaly následující parametry:

- River Station – staničení laterální struktury
- HW Position – poloha vůči korytu toku (pravý/levý břeh)
- Tailwater Connection – typ připojení k 2D ortogonální síti



Obr 27 Lateral Structure Editor – ukázka zadávání laterální struktury (autor)

Dále byly zadány přesné parametry laterální struktury. Využilo se k tomu okno *Lateral Weir Embankment*, do něhož se zadaly parametry:

- Weir Width – šířka laterální struktury
- HW – Distance to Upstream XS – vzdálenost od horního profilu
- Station – staničení bodů laterální struktury [m]
- Elevation – Výšková poloha bodů laterální struktury

Šířka laterální struktury byla zvolena 5 m. Výškové body laterální struktury byly přidány pomocí známých příčných profilů a břehové hrany. K tomu byl vytvořen v MS Excel pomocný soubor k interpolování výškových bodů mezi danými profily.

Při vytváření laterální struktury docházelo často k nestabilnímu propojení 2D oblasti k příčným profilům. Bylo nutné často laterální strukturu zkracovat nebo změnit trasu, aby byl model stabilní.

7.1.4 Zobrazení výstupů

Výstupem z programu HEC-RAS byly v 1D modelu tabulkové soubory o hloubce a rychlosti proudění vody v korytě. Hodnoty z těchto výstupů byly převedeny do podélných profilů (viz příloha C.4.1 a C.4.2) a vzorových příčných profilů (viz příloha C.5). Ve 2D modelu byly výsledkem rastrové soubory s informacemi o hloubce, rychlosti a rozlivu vody v záplavovém území. Tyto soubory byly poté převedeny do mapových výstupů (viz přílohy D.1, D.2 a D.3).

8 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ VÝPOČTŮ

Výsledky hydraulických výpočtů byly zpracovány do mapových listů, které zahrnují údaje o hloubkách, rychlostech a rozlivů vody (viz příloha D.1, D.2 a aD.3). Hodnoty průběhů hladin byly rovněž vyneseny a zakresleny do podélných profilů toků a příčných řezů PPO (viz příloha C.4.1, C.4.2 a C.5). Řešení byly stávající stav zájmového území a stav s návrhem PPO ve 2 variantách a (viz kap. 6.)

Jak už bylo poznamenáno, návrhové kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} byly simulovány na Kotojedkce. Na Zacharce byl jako okrajová podmínka zadáván průtok $Q_1 = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

8.1 Stávající stav

8.1.1 Průtok Q_5

Při průtoku $Q_5 = 22,6 \text{ m}^3/\text{s}$ na vodním toku Kotojedka nedochází k výrazným rozlivům a ohrožení majetku. Koryto Kotojedky je kapacitní až na několik úseků. Tím prvním je úsek mezi km 4,699 – 5,250. Zde na pravém břehu Kotojedky nad silničním mostem v obci Jarohněvice dochází k vybřežení a zaplavení zemědělských pozemků. Dalším úsek, kde dojde k lokálnímu vylití z koryta je v km 2,868 nad silničním mostem. Zde dojde vlivem překročení průtočné kapacity pod mostem na pravém břehu k zaplavení zemědělských pozemků.

Při průtoku Zacharkou dojde k vybřežení v úseku mezi km 2,063 – 2,266. Následně dojde k částečnému zaplavení inundačního prostoru mezi oběma toky. I zde se jedná o zemědělské pozemky.

8.1.2 Průtok Q_{20}

Při průtoku $Q_{20} = 40,4 \text{ m}^3/\text{s}$ dochází už k výraznějším rozlivům, ohrožující i obytnou zástavbu. Na vodním toku Kotojedka nad silničním mostem v km 4,699 – 5,284 je zaplaven pravý i levý břeh toku. Jedná se převážně o zemědělské pozemky. Další menší rozliv je patrný na pravém břehu v km cca 3,800 až 4,557. K výraznějšímu vybřežení dochází až cca v km 2,320 – 3,400. V tomto úseku je koryto Kotojedky jak na pravém, tak levém břehu málo kapacitní a voda se tak vyplavuje na přilehlé zemědělské pozemky. Na pravém břehu rozliv nejprve respektuje trasu tělesa železnice, které tvoří částečnou ochranu obytné zástavby. Odolnost tělesa železnice je však z důvodu umístěného propustku, výškového uspořádání a propustného svršku železnice nedostatečná. Dochází tudíž k přelití tělesa železnice a zaplavení velké části obce Kotojedy. Rozliv se rozšiřuje následně dále po zemědělských pozemcích až k hranici obce Těšnovice a vytváří rozsáhlé záplavové území. Na levém břehu dochází k zaplavení zemědělských pozemků

i obytných budov včetně domova pro seniory. Rozliv tu dosahuje až k vodnímu toku Zacharka, který následně část průtoku přebírá.

Pravý břeh Kotojedky je v úseku v km 2,300 až po ústí do Moravy dostatečně kapacitní, s výjimkou úseku v km cca 1,600 až 1,845, kde dochází k vybřežení a zaplavení zemědělských pozemků.

K rozsáhlému rozlivu však dochází na levém břehu Kotojedky. Zde nastává rozliv z koryta samotné Kotojedky i Zacharky. Dochází k zaplavení místního letiště i průmyslové zóny. V tomto úseku dochází k oboustrannému ovlivňování obou toků navzájem. Do Zacharky se částečně přes záplavové území dostává voda z Kotojedky. Zacharka však na daný průtok není dostatečně kapacitní. Problém nastává převážně díky jednotlivým objektům. To je vidět hlavně v úseku od km 1,545 až po ústí do Moravy. Tyto objekty jsou v krátké vzdálenosti od sebe, ve většině případů s nevhodným průtočným profilem i údržbou. Z důvodu toho, se voda rozlívá na pravém břehu, kde se rozlívá do průmyslové zóny a letiště, i na levém břehu Zacharky, kde následný rozliv zasahuje až do intravilánu města Kroměříž..

8.1.3 Průtok Q_{100}

Při průtoku $Q_{100} = 68,0 \text{ m}^3/\text{s}$ dochází k rozsáhlým rozlivům i do zastavěných území oblasti. V úseku 6,600 až 6,150 dochází k zaplavení okraje obce Šelešovice. Dále se rozliv na Kotojedce drží na zemědělských pozemcích až po km 4,794. Zde dochází k zaplavení obytných domů obce Jarohněvice. Pod Jarohněvicemi voda vybřežuje na pravém i levém břehu Kotojedky a zaplavuje zemědělské pozemky.

V úseku 3,800 až 4,557 dochází podobně jako při průtoku Q_{20} na pravém břehu k přelití tělesa železnice, zaplavení obce Kotojedy i rozsáhlému rozlivu na zemědělských pozemcích, sahající až k obci Těšnovice. Na levém břehu dochází k přelévání části průtoku do Zacharky a zaplavení rodinných domů a domova pro seniory.

Od km 2,214 je pravý břeh Kotojedky dostatečně kapacitní. Vyjimku tvoří pouze úsek v km 1,614 až 1,845, kde dochází k částečnému vybřežení a zaplavení zemědělských pozemků. K velkému rozlivu dochází v území mezi oběma toky. Zde je zaplaveno letiště i průmyslová hala. Jak už bylo popsáno, část průtoku z Kotojedky se dostává do koryta Zacharky. To však i díky málo kapacitních objektů není schopné danou povodňovou vlnu zvládnout. Z toho důvodu rozliv zasahuje na Zacharce v úseku od km 1,545 až po ústí do Moravy, do intravilánu města Kroměříž, kde může dojít k zaplavení jednotlivých ulic.

8.2 Návrhový stav

8.2.1 1. varianta

Návrhový stav byl stanoven a posuzován na kulminační průtok Q_{20} , Primárním cílem bylo ochránit v úseku cca na km 2,321 až 3,400 pravý břeh vodního toku Kotojedka.

V daném úseku docházelo k přelívání tělesa železnice a zaplavení poměrně rozsáhlého území včetně obce Kotojedy. V rámci práce byla navržena zemní ochranná hráz podél železnice viz kap. 5.1. Díky tomu se voda na pravém břehu držela v inundační oblasti podél toku a zabránilo se vtoku vody do zastavěného území.

Vlivem zabránění rozlivu a menší schopnosti transformovat povodňovou vlnu docházelo však k větším rozlivům pod daným úsekem. Jednalo se především o průmyslovou oblast mezi oběma toky. Zde docházelo k rozlivu především ze Zacharky, která část povodňové vlny převzala při přelítí z Kotojedky.

Jak už bylo popsáno, v úseku cca mezi km 1,545 – 1,120 se se na vodním toku Zacharka nachází řada objektů. Většina z nich jsou málo kapacitní s nevyhovujícím průtočným profilem (např. propustky o malém DN) i údržbou (např. nevhodné příčné oplocení koryta).



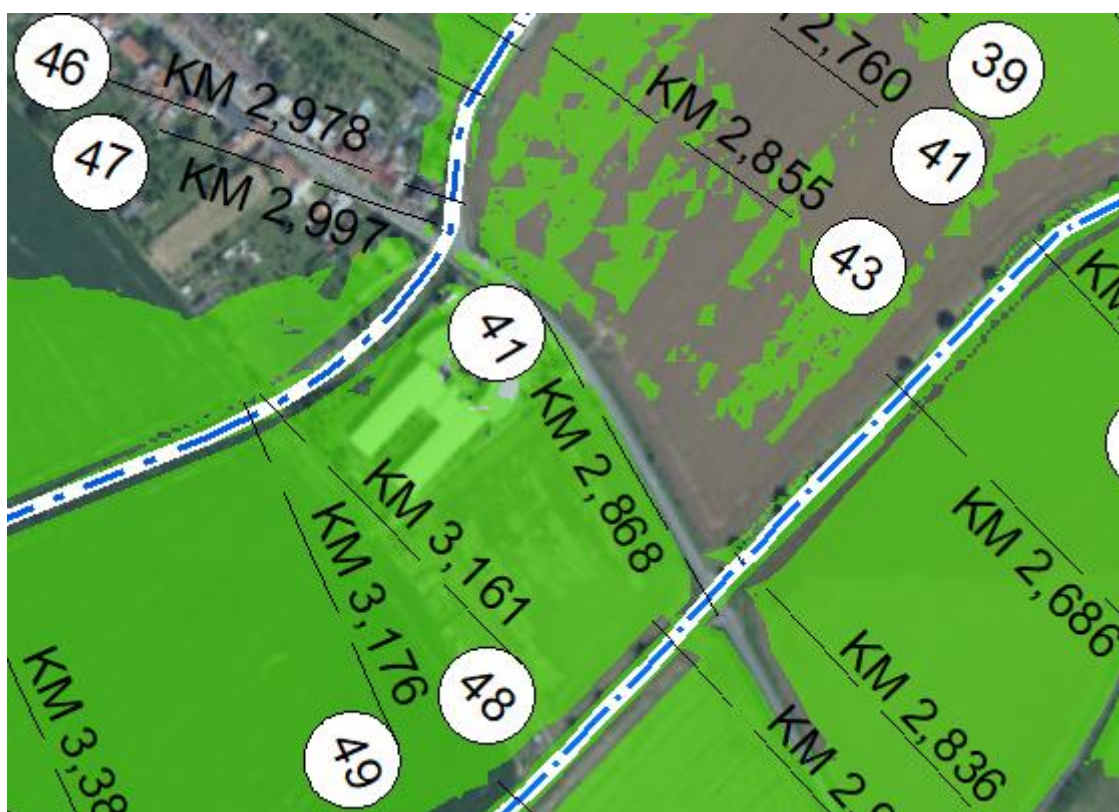
Obr. 28 Ukázka nevhodného objektu i oplocení koryta

Jako další krok bylo proto navrženo tři objekty zkapacitnit a dva méně používané objekty odstranit viz kap. 5.1. Koryto Zacharky tím dosáhlo větší kapacity a díky tomu nedošlo k zaplavení průmyslové zóny.

Tento návrhový stav s PPO je patrný v mapách rozlivů (viz příloha D.3.2) a celkové situaci stavby (viz příloha C.2) , kde je vidět účinek jednotlivých opatření.

8.2.2 2. varianta

Další snahou bylo ochránit rodinné domy a především domov pro seniory v úseku cca od km 2,868 až 3,047 na vodním toku Kotojedka. Na tomto úseku dochází k vybřežení na levém břehu Kotojedky a zaplavení objektů. Danou oblastí prochází silnice, která tvoří umělou překážku v samovolném odtékání vody dále územím. V důsledku tomu dochází k retenci vody a zvyšování hladiny. Jako řešení byla navržena další varianta PPO. Tím byl obdélníkový propustek v tělese komunikace viz kap. 5.1. Cílem bylo umožnit vodě odtékat a nezdržovat se v téhle oblasti.



Obr. 29 Q₂₀ - Stávající stav [1] [4] [21]



Obr. 30 Q₂₀ - Návrhový stav s propustkem [1] [4] [21]

Jak je patrné z obr. 28 a 29, rozliv dané oblasti se zmenšil. Došlo však ke zvětšení objemu proudící vody pod tělesem komunikace. Tím došlo v úseku na Zacharce km 1,558 k zaplavení průmyslové zóny a okolí viz obr. 31.



Obr. 31 Ukázka zaplavení průmyslové zóny [1] [21]

8.2.3 Shrnutí

Řešená oblast je z povodňového hlediska poměrně složitá. Vodní toky nejsou v určitých úsecích dost kapacitní a dochází často k vybřežení a zaplavení území. Často se toky navzájem ovlivňují, protože voda se dostává z jednoho do druhého a naopak. V oblasti je také řada drobných objektů, které mají malou kapacitu a jsou špatně udržované, jako je tomu v oblasti průmyslové zóny.

Úkolem do budoucna je nejdříve zlepšit údržbu všech objektů především na Zacharce. Následně hledat další varianty PPO v konkrétních rizikových úsecích pomocí liniových staveb, vhodným návrhem objektů nebo potencionálního retenčního prostoru v horní části úseku, který by část povodňové vlny transformoval.

9 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo posouzení a zhodnocení stávajícího stavu protipovodňové ochrany na vodních tocích Kotojedka v km 0,000 – 6,618 a Zacharka v km 0,000 – 3,779 v zájmové lokalitě Kroměříže a jeho blízkého okolí. Součástí práce jsou rovněž hydraulické výpočty proudění vody v toku a záplavovém území a dále návrh protipovodňového opatření s cílem ochránit rizikové záplavové oblasti na pravém břehu vodního toku Kotojedka cca v km 2,105 až 3,611.

V první části práce byl proveden hydraulický výpočet s vyhodnocením stávajícího stavu protipovodňové ochrany pro kulminační průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Výsledky jsou patrné v mapách hloubek, rychlostí a rozlivů. Následně došlo k identifikaci nejrizikovějších úseků především na pravém břehu Kotojedky. Největší potenciální rozliv, ohrožující majetek, tak obyvatelstvo se nacházel v úseku cca v km 2,321 až 3,400. Hydraulické výpočty byly provedeny formou sprzęženého 1D a 2D numerického modelu pomocí softwaru HEC-RAS 5.0.7.

V druhé části se provedl návrh vhodných protipovodňových opatření a jejich ověření hydraulickým výpočtem. Jako první se jevila možnost umístit zemní hráz podél tělesa železnice. Díky tomu došlo k zajištění proudění vody v inundačním prostoru podél toku a hlavně k zabránění vniknutí vody do zastavěného území a vytvoření rozsáhlého rozlivu. Tím však došlo ke zvětšení průtoku pod daným úsekem. Jako další krok se navrhlo zkapacitnění nebo odstranění vybraných objektů na Zacharce v úseku km 1,120 – 1,545. Po tomto zásahu došlo ke zkapacitnění zmenšení velikosti rozlivů. Jako poslední byla ověřena možnost návrhu propustku v zemním tělese komunikace, což mělo za cíl umožnit proudění vody a bránění zaplavení primárně domova pro seniory. To mělo však za následek větší rozlivy v ob dolní části v oblasti průmyslové zóny.

Samotný model řešené oblasti a návrh několika variant protipovodňových opatření měly za úkol zlepšit ochranu před velkými vodami. V rámci této práce se povedlo ochránit kritickou část pravého břehu Kotojedky v obci Kotojedy. Dále díky vhodnému zkapacitnění a zrušení objektů se zlepšila situace v oblasti průmyslové zóny a okolí. Zbylou část oblasti je třeba v budoucnu řešit, s ohledem na průtočné poměry, jako komplexní soustavu protipovodňových opatření. Předpokládá se využití PPO zahrnujících liniová opatření, opatření s retencí a úpravy související se zkapacitněním resp. Odstraněním nevhodných objektů na tocích.

10 SEZNAM PŘÍLOH

- A. Průvodní a technická zpráva
- B. Fotodokumentace
- C. Výkresová dokumentace
 - C.1. Situace širších vztahů
 - C.2. Celková situace stavby
 - C.2.1. Celková situace stavby – 1. varianta
 - C.2.2. Celková situace stavby – 2. varianta
 - C.3. Katastrální situace
 - C.4.1 Podrobný podélný profil Kotojedky – stávající stav
 - C.4.1.1. Podrobný podélný profil Kotojedky – stávající stav Km 0,000 – 2,314
 - C.4.1.2. Podrobný podélný profil Kotojedky – stávající stav Km 2,314– 6,618
 - C.4.2 Podrobný podélný profil Kotojedky – návrhový stav
 - C.4.2.1. Podrobný podélný profil Kotojedky – návrhový stav Km 0,000 – 2,314
 - C.4.2.2. Podrobný podélný profil Kotojedky – návrhový stav Km 2,314– 6,618
 - C.5. Příčné řezy PPO
- D. Výsledky hydraulických výpočtů
 - D.1. Mapy hloubek
 - D.1.1. Mapa hloubek pro Q_5 – stávající stav
 - D.1.2. Mapa hloubek pro Q_{20} – stávající stav
 - D.1.3. Mapa hloubek pro Q_{100} – stávající stav
 - D.2. Mapy rychlostí
 - D.2.1. Mapa rychlostí pro Q_5 – stávající stav
 - D.2.2. Mapa rychlostí pro Q_{20} – stávající stav
 - D.2.3. Mapa rychlostí pro Q_{100} – stávající stav
 - D.3. Mapy rozlivů
 - D.3.1. Mapa rozlivů – stávající stav
 - D.3.2. Mapa rozlivů – návrhový stav

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní informace o řešeném úseku toku Kotojedka [5] [6]	17
Tab. 2 Základní informace o řešeném úseku toku Zacharka [5] [6]	17
Tab. 3 Geomorfologie řešené oblasti [13].....	21
Tab. 4 Vybrané klimatické údaje řešené oblasti [15].....	21
Tab. 5 Limity pro stupně povodňové aktivity Zdounky (Kotojedka) [16].....	22
Tab. 6 Hodnoty N-letých průtoků [17].....	22
Tab. 7 Hodnoty N-letých průtoků [2].....	23
Tab. 8 Hodnoty N-letých průtoků (Zacharka) [7]	23
Tab. 9 Objekty na vodním toku Kotojedka [1]	23
Tab. 10 Objekty na vodním toku Zacharka.....	24
Tab. 11 Horní okrajová podmínka Q_{20} (Kotojedka km 6,600)	40
Tab. 12 Dolní okrajová podmínka (Kotojedka) [2].....	41
Tab. 13 Dolní okrajová podmínka (Zacharka) [7]	41
Tab. 14 Hodnoty drsností pro 2D oblasti dle Manninga	43
Tab. 15 Ukázka převedení příčných profilů do formátu*.xls	46

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad příčného profilu z geodetického zaměření	16
Obr. 2 Situace zájmové oblasti [4]	18
Obr. 3 Vymezení oblasti povodí Moravy [10]	18
Obr. 4 Přehledná mapa povodí Moravy [10].....	19
Obr. 5 Hlásný profil Zdounky (Kotojedka) [4] [16]	22
Obr. 6 SO 3 Propustek – stávající stav	26
Obr. 7 SO 3 Mostní objekt – návrhový stav.....	27
Obr. 8 SO 4 Most Beneš – stávající stav	28
Obr. 9 SO 4 Most Beneš – návrhový stav	28
Obr. 10 SO 5 Propustek – stávající stav	29
Obr. 11 SO 5 Most – návrhový stav	30
Obr. 12 SO 6 Lávka Km 1,183 – stávající stav	31
Obr. 13 SO 7 Mostek Km 1,1,387 – stávající stav	31
Obr. 14 Vymezení zájmové oblasti – průtok Q_{500} [7] [20]	34
Obr. 15 Řešená oblast – stávající stav [21]	35
Obr. 16 Ukázka schematizace spřaženého 1D/2D modelu (autor)	35
Obr. 17 Horní okrajová podmínka Q_{20} (Kotojedka km 6,600) [4].....	41
Obr. 18 Okrajové podmínky – stávající stav [4]	42
Obr. 19 Ukázka rozdělení drsností ve 2D oblasti [21]	43
Obr. 20 Základní prostředí programu HEC-RAS.....	45
Obr. 21 Ukázka zadávání příčných profilů – Zacharka – PF 15	47
Obr. 22 Uživatelské rozhraní – Bridge Culvert Data (autor)	48
Obr. 23 Vkládání parametrů – mosty, lávky	49
Obr. 24 Vkládání parametrů – propustky	49
Obr. 25 Vymezení oblastí 2D modelu.....	50
Obr. 26 Ukázka ortogonální sítě včetně přidání break lines a drsnosti.....	51
Obr. 27 Lateral Structure Editor – ukázka zadávání laterální struktury (autor).....	52
Obr. 28 Ukázka nevhodného objektu i oplocení koryta.....	56
Obr. 29 Q_{20} - Stávající stav [1] [4] [21]	57
Obr. 30 Q_{20} - Návrhový stav s propustkem [1] [4] [21]	58
Obr. 31 Ukázka zaplavení průmyslové zóny [1] [21]	59